

JANILIE TE CHEMIM BORGES

MONITORAMENTO DA DESIDRATAÇÃO DE LODO AERÓBIO DE
INDÚSTRIA DE FITOTERÁPICOS EM LEITO DE SECAGEM
MODIFICADO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Solo, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Departamento de Solos, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Celina Wisniewski

CURITIBA

2003

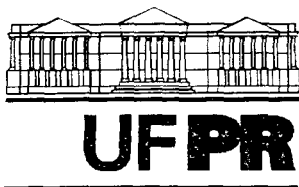
BORGES, Janiliete Chemim.

Monitoramento da desidratação de lodo aeróbico de indústria de fitoterápicos em leito de secagem modificado/ Janiliete Chemim Borges. Curitiba, 2003.

vi, . 70 f.

Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná (UFPR).

1. - Lodo. 2. Aeróbico. 3. Secagem



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisolos@agrarias.ufpr.br

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **JANILIETE CHEMIM BORGES**, sob o título "**Monitoramento da desidratação de lodo aeróbio de indústria de fitoterápicos em leito de secagem modificado**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido a candidata, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com o conceito "**B**", completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba aos 29 de setembro de 2003.

Profª. Drª. Celina Wisniewski, Presidente.

Profª. Drª. Cyntia Wachowicz, Iª Examinadora.

Profª. Drª. Beatriz Monte Serrat Prevedello, IIª Examinador.



DEDICATÓRIA

Ao Mestre Jesus Cristo que ressuscitou e está vivo e
é o caminho de ligação entre Deus e os homens.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Aos meus pais Ney e Olga Silva que sempre me incentivaram e me apoiaram para que eu chegasse até aqui.

Ao meu esposo e amigo Josué A. Borges pela compreensão e grande colaboração na elaboração desta dissertação.

Aos meus filhos Gabriel e Isabelle que são verdadeiras bênçãos em minha vida.

A minha orientadora professora Celina Wisniewski por ter me incentivado a desenvolver o experimento na indústria Herbarium e pelas valiosas contribuições sem as quais não teria realizado esse trabalho.

À Indústria Herbarium Laboratório Botânico Ltda por ter permitido a instalação do aparato experimental em suas instalações, ao Engº Omar Kalluf que muito contribuiu para elaboração deste trabalho e é exemplo de competência e dedicação na área de processos. Muito obrigado.

As professoras Beatriz Prevedello e Ana Rosa Sirtoli pela orientação no desenvolvimento do relatório técnico “Estudo de Caso: Indústria Herbarium Laboratório Botânico Ltda” desenvolvido na disciplina de aplicação de resíduos no solo o qual muito contribuiu para o sucesso deste trabalho.

Ao Professores da PUC Engº Harry Alberto Bollmann e Engº Miguel Aisse, pelas valiosas contribuições.

Aos amigos Claudia Pacheco e Eliezer Pacheco pelo apoio, incentivo, contribuições e amizade.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	4
3 REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA	5
3.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	5
3.2 DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO LODO	7
3.3 DISTRIBUIÇÃO DOS SÓLIDOS NO LODO.....	9
3.3.1 Classificação por tamanho.....	10
3.3.2 Classificação por características químicas.....	10
3.3.3 Classificação por decantabilidade.....	10
3.4 DESAGUAMENTO DO LODO EM LEITOS DE SECAGEM.....	11
3.4.1 Experimentos com leitos de secagem.....	12
3.4.2 Leito de secagem modificado com manta de poliéster.....	14
3.5 ORGANISMOS PRESENTES NO LODO.....	15
3.5.1 Bactérias.....	15
3.5.2 Vírus.....	17
3.5.3 Fungos.....	18
3.5.4 Protozoários.....	19
3.5.5 Helmintos.....	20

3.6	PROCESSOS DE HIGIENIZAÇÃO	22
3.7	A RECICLAGEM AGRÍCOLA COMO FORMA DE DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO	25
3.7.1	Nutrientes.....	26
3.7.2	A importância da Matéria Orgânica e dos Biossólidos.....	27
3.7.3	Nitrogênio.....	28
3.7.4	Fósforo.....	28
3.7.5	Potássio.....	29
3.7.6	Cálcio, Magnésio e Enxofre.....	29
3.7.7	Micronutrientes.....	30
3.8	METAIS PESADOS.....	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1	DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO.....	34
4.1.1	Local e Clima.....	34
4.1.2	Tipo de Tratamento e Características do Lodo.....	34
4.2	TRATAMENTOS.....	36
4.3	APARATO EXPERIMENTAL.....	37
4.3.1	Dimensionamento do Leito de Secagem.....	39
4.3.2	Parâmetros de Projeto.....	40
4.3.3	Condição dos tratamentos.....	40
4.4	PARÂMETROS AVALIADOS E AMOSTRAGENS.....	44
4.4.1	Fatores Climáticos.....	44
4.4.2	Sólidos Totais, Sólidos Totais fixos e Sólidos e Totais Voláteis.....	44
4.4.3	Teor de Resíduos Seco no Lodo.....	45
4.4.4	Sanidade do Lodo.....	45
4.4.5	Caracterização Química.....	46

4.4.6	Análise Estatística.....	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5.1	AVALIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS.....	48
5.2	AVALIAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA SECA NOS TRATAMENTOS.....	48
5.3	AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES CLIMÁTICOS NA SECAGEM DO LODO.....	51
5.4	CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E FECAIS.....	56
5.5	CONCENTRAÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS.....	58
5.6	AVALIAÇÃO GERAL DO PERFIL SANITÁRIO DO LODO DA EMPRESA HERBARIUM.....	59
5.7	ANÁLISES QUÍMICAS DO LODO DA HERBARIUM.....	59
5.7.1	Matérias Primas Utilizadas.....	59
5.7.2	Teor de Metais Pesados.....	62
5.8	IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE SECAGEM EM ESCALA REAL PELA HERBARIUM.....	63
6.0	CONCLUSÕES.....	64
7.0	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
	ANEXOS.....	70

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO AFLUENTE E DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE FITOTERÁPICOS	5
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO TÍPICA DE LODO DE ESGOTO	6
TABELA 3 - COMPARATIVO ENTRE VOLUME, TEOR DE SÓLIDOS SECOS E VOLUME DE LODO	9
TABELA 4 - VÍRUS DE IMPORTÂNCIA SANITÁRIA, ENFERMIDADE ASSOCIADA E RESERVATÓRIOS (QUANDO NÃO ESPECÍFICO).....	18
TABELA 5 - PROTOZOÁRIOS DE INTERESSE SANITÁRIO, DOENÇAS PROVOCADAS E RESERVATORIOS	19
TABELA 6 - LIMITE DE PATÓGENOS PRESENTES NO LODO DE ESGOTO PARA A RECICLAGEM AGRÍCOLA NO PARANÁ	24
TABELA 7 - PARÂMETROS AGRONÔMICOS DOS BIOSSÓLIDOS	27
TABELA 8 - CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS PERMISSÍVEIS DE METAIS PESADOS EM BIOSSÓLIDOS	31
TABELA 9 - VALOR LIMITE DE METAIS PESADOS EM SOLOS E EM LODOS, DE ACORDO COM Ph E DIRETRIZES DA ESPANHA.....	32
TABELA 10 MÉDIA DOS TEORES DE METAIS PESADOS EM LODO AERÓBIO E ANAERÓBIO (MG/KG) EM RELAÇÃO AO PESO.....	33
TABELA 11 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DO TANQUE DE LODO EXCEDENTE.....	48

TABELA 12	TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS NOS TRATAMENTOS 1, 2 E 3	49
TABELA 13	DADOS MÉDIOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO PARA OS MESES DE JUNHO A SETEMBRO DE 2001.....	51
TABELA 14	VALORES DE COLIFORMES TOTAIS E FECAIS NOS EXPERI- MENTOS 1 E 3.....	56
TABELA 15	ESPÉCIES E PORCENTAGENS DE OVOS DE HELMINTOS PRESENTES NAS AMOSTRAS DE LODO.....	58
TABELA 16 -	RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO LODO NOS EXPERIMENTOS 1 E 3.....	60
TABELA 17-	TEOR DE METAIS PESADOS ENCONTRADO NO LODO DO EXPERIMENTO 1 E 3 E VALOR LIMITE PARA A RECICLAGEM AGRÍCOLA.....	62

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - VARIAÇÃO DO VOLUME OCUPADO POR UMA AMOSTRA DE LODO EM FUNÇÃO DO SEU TEOR DE ÁGUA	8
FIGURA 2 - LEITO DE SECAGEM COM CAMADA SUPORTE DE POLIÉSTER	15
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DO TRATAMENTO DE OUTRAS FONTES DE EFLUENTES INDUSTRIAL E DOMÉSTICO NA HERBARIUM	35
FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DA HERBARIUM	36
FIGURA 5 - LEITO DE SECAGEM PILOTO	39
FIGURA 6 - TANQUE DE LODO EXCEDENTE	40
FIGURA 7 - LEITO DE SECAGEM MOSTRANDO O LODO SENDO DESCARREGADO	41
FIGURA 8 - LEITO DE SECAGEM MODIFICADO COM O LODO VERTIDO NA SUPERFÍCIE	42
FIGURA 9 - LODO SECO DENTRO DO SISTEMA DE SECAGEM	43
FIGURA 10 – COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) PARA OS EXPERIMEN- TOS 1, 2 E 3.....	50
FIGURA 11 MÉDIAS DIÁRIAS DA TEMPERATURA, UMIDADE E PRECIPITA- ÇÃO PARA O TRATAMENTO 1.....	52
FIGURA 12 MÉDIAS DIÁRIAS DA TEMPERATURA, UMIDADE E PRECIPITA- ÇÃO PARA O TRATAMENTO 2.....	54
FIGURA 13 MÉDIAS DIÁRIAS DA TEMPERATURA, UMIDADE E PRECIPITA- ÇÃO PARA O TRATAMENTO 3.....	55

RESUMO

Os resíduos produzidos em estações de tratamento de efluentes industriais, denominados genericamente de lodo, são um problema de âmbito mundial. Estes resíduos necessitam de uma destinação final segura e economicamente viável. Visando principalmente a minimização da produção de lodo, foi realizado este trabalho na empresa Herbarium Laboratório Botânico Ltda que avalia a secagem, a sanidade e as características químicas do lodo industrial em leito de secagem modificado com manta de poliéster. O sistema de leitos de secagem modificado com manta de poliéster para retenção de sólidos é uma alternativa eficiente e que permite desaguar o lodo fluído com obtenção de 30% de sólidos totais no período de 30 a 40 dias de secagem. Verificou-se que os fatores climáticos favoráveis contribuíram para a secagem do lodo. O tratamento realizado em leito de secagem com curtos períodos de solarização devido à cobertura com filme plástico para evitar a entrada de água de chuva, se mostrou eficiente na higienização do lodo. No tratamento realizado em leito com secagem natural a concentração de coliformes fecais após período de secagem apresentou valores de $1,6 \times 10^6$ NMP/100g.PS⁻¹. Verificou-se que a concentração de coliformes fecais ultrapassou a Instrução Normativa do IAP que é de 10^3 NMP/g. MS⁻¹. Os ovos de helmintos apresentaram concentrações de 0,42 ovos/g. MS⁻¹. Os ovos viáveis de helmintos apresentaram concentrações de 0,21/g. MS⁻¹. A concentração de ovos viáveis de helmintos encontra-se muito próxima do limite estabelecido pelo IAP que é de 0,25 ovos/g. MS⁻¹. O lodo após período de secagem deve ser higienizado por caleação ou compostagem. Os ovos de helmintos e os coliformes demonstraram ser bons indicadores do grau de sanidade do lodo. Embora a concentração dos macronutrientes do lodo da empresa Herbarium seja menor que os encontrados em lodo oriundo de esgoto doméstico, não existem critérios normativos que estabeleçam limites ou restrições quanto esses níveis. Os teores de metais pesados encontrados no lodo não excedem o estabelecido pela Instrução Normativa do IAP para uso agrícola de lodos. Com base nos resultados obtidos neste experimento piloto de leito de secagem a Indústria Herbarium Laboratório Botânico Ltda implantou um sistema de leito de secagem similar em escala real para desaguar o lodo gerado em seu processo industrial, com bons resultados.

ABSTRACT

Residues produced in treatment plants of industrial waste water, generically denominated sludge, are a worldwide problem. Their final destination must be viable economically and environmentally safe. The objective of this study was to evaluate the drying process of industrial sludge through the use of a modified drying bed with a polyester fabric. The sanity as well as the chemical characteristics of the dried sludge were also evaluated. The modified drying system with the use of a polyester fabric for the reduction of solids was an efficient alternative in that it allowed drainage excess water with the objection to 30% of total solids in a period of 30 to 40 days. Favorable climatic conditions helped the drying of the sludge. The treatment subjected to short periods of solarization due to the use of a plastic film to prevent rainfall in the drying bed showed efficiency in sludge higenization. In the treatment not covered with a plastic film, after the drying period the concentration of fecal coliforms was $1,6 \times 10^6$ NMP/100g. DM⁻¹, wich is above the maximum admitted by the Normative Instruction of the Environmental Agency of Paraná State (IAP). The concentration of helminthes eggs was 0,42g.DM⁻¹, half of wich were still viable, a number very close to the limit stablished in the environmental regulation. These results indicates the need for lime treatment or composting to eliminate theese pathogenic microorganisms wich can be used as good indicators of sludge sanity. Nutrient concentration of the dried sludge can be considered low as compared to domestic sewage although there are no normative criteria stablishing limits or restriction. Sludge heavy metal concentration do not exceeded Parana State Environmental Agency Normative Instruction for agricultural use. Based on the results of theese treatment the Herbarium Botanical Laboratory implanted a similar system in real scale, with satisfactory results.

1 INTRODUÇÃO

O lodo produzido no processo de tratamento pelas estações de tratamento de efluente, é um resíduo com destino problemático.

O gerenciamento ambiental dos resíduos sólidos industriais é hoje um dos principais desafios vivenciados pelas empresas na área de meio ambiente. A gestão destes resíduos sólidos deve estar focada na proteção da saúde humana, manutenção da qualidade de vida e conservação dos recursos naturais (DIAS et al., 1999).

As modalidades mais recentes de gestão dos resíduos sólidos incorporam, para as abordagens integradas, globais e sistêmicas do problema, a redução da geração de resíduos, do consumo e do desperdício. Essas abordagens são sistematizadas em uma estratégia denominada minimização de resíduos, que vem sendo adotada em todo o mundo, com a finalidade de fazer frente às proporções atingidas pelos impactos ambientais acarretados pelos resíduos sólidos, principalmente decorrentes de sua disposição final inadequada (GÜNTHER, 1997).

Conforme definido pela Agenda 21 (ONU, 1995) o manejo ambientalmente adequado dos resíduos sólidos e das águas está entre os assuntos mais relevantes na manutenção da qualidade do meio ambiente, especialmente na busca do desenvolvimento sustentável. Este documento apresenta ainda, como programas mais importantes a minimização de resíduos, a maximização do reuso e da reciclagem ambientalmente adequada, a promoção da disposição e tratamento dos resíduos e a extensão dos sistemas e serviços de coleta, gestão e tratamento de resíduos a população.

Muitas vezes uma empresa quer tratar os seus resíduos e há uma consciência do gerador nesse sentido, mas todo tratamento de resíduos, ou grande parte dos tratamentos de resíduos, representam custo.

Mesmo a reciclagem gera custo e isso significa que, se uma determinada empresa fizer o tratamento e o seu competidor não o fizer, isto colocará a primeira

empresa numa posição de menor competitividade no mercado.

No passado a empresa só procurava adequar a destinação de resíduos ou seu gerenciamento, se fosse competir em termos globais e precisasse apresentar uma política clara de meio ambiente. Com a aprovação da Lei de Crimes Ambientais, no início de 1998, a qual estabelece pesadas sanções para os responsáveis pela disposição inadequada de resíduos, começaram a ocorrer mudanças nesse cenário.

A indústria de papel foi pioneira nesse aspecto buscando certificações como a BS 7750 e ISO 14 000.

As indústrias químicas apresentam uma enorme variedade de processos e produtos, podendo ser considerado o setor mais diversificado da área industrial. É também o setor industrial sobre o qual se concentram de maneira mais intensa as preocupações quanto à contaminação ambiental, seja pelos processos utilizados, em que os reagentes e produtos químicos obtidos em sua grande parte inflamáveis e explosivos e/ ou carcinogênicos, seja pela aplicação desses produtos em outros ramos de atividades e suas conseqüências danosas para o meio ambiente (DIAS et al.,1999).

Conforme Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), instituída pela Resolução Nº. 054, de 19 de dezembro de 1994, a fabricação de produtos farmacêuticos faz parte do grupo de atividades abrangidas pela fabricação de produtos químicos.

Indústrias farmacêuticas voltadas para fabricação de fitoterápicos empregam exclusivamente matérias-primas vegetais, com finalidades profiláticas, curativas, paliativas ou para fins diagnósticos.

As matérias-primas farmacêuticas empregam o uso de solventes para proceder à extração de substâncias vegetais. Normalmente utilizam-se folhas e raízes, e mais raramente frutos, flores ou cascas. O solvente mais comumente usado é o álcool etílico, no processo chamado percolação. Nas indústrias que trabalham com extratos naturais de plantas, o solvente é recuperado, de maneira que a carga poluente fica sensivelmente

reduzida.

Os processos de tratamento da carga poluente consistem basicamente na associação de mecanismos físicos, químicos e biológicos, objetivando a remoção de sólidos sedimentáveis e da matéria orgânica de águas residuárias, com a finalidade de reduzir sua carga poluidora para garantir seu retorno ao ambiente sem causar degradação ambiental.

Os despejos industriais, após tratamento, produzem um lodo que deve ser disposto de maneira que não afete o meio ambiente.

Esse lodo possui grande teor de umidade a qual deve ser removida para facilitar principalmente o transporte e destinação final. Para empresas que geram pequena quantidade de lodo, uma das alternativas mais viáveis para redução da umidade é o sistema de leito de secagem.

Os leitos de secagem são de baixo custo de construção e destinam-se a receber o lodo oriundo de processos biológicos, para promover a redução da umidade, através da drenagem e evaporação da água liberada durante o processo de secagem.

O lodo biológico após secagem gera um resíduo sólido que, ao atender critérios agronômicos, sanitários e de metais pesados, poderá ter como destinação final à reciclagem agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a secagem, a sanidade e as características químicas do lodo industrial em leito de secagem modificado com manta de poliéster.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o tempo de secagem do lodo no leito em função do teor de sólidos totais;
- Avaliar a influência dos fatores climáticos no inverno e início da primavera na secagem do lodo digerido aerobicamente em leito de secagem piloto;
- Estimar a concentração de bactérias do grupo coliformes totais e fecais.
- Estimar a concentração de ovos de helmintos no lodo após término da secagem no leito.
- Avaliar as características químicas (macronutrientes e metais pesados) do lodo após a secagem no leito.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo a NBR 10004 de setembro de 1997, são denominados resíduos sólidos industriais os resíduos em estado sólido e semi-sólido (pastoso) que resultam de atividades industriais, incluindo-se os lodos provenientes de estações de tratamento de águas residuárias (efluentes), aqueles gerados em equipamentos de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exijam, para isto, soluções economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível.

Os resíduos de origem industriais oriundos de estações de tratamento de efluentes são na maioria das vezes formados por despejos industriais e domésticos da contribuição dos funcionários.

A Tabela 1 demonstra as características físico-químicas do afluente e do efluente de uma indústria de fitoterápicos onde o despejo industrial e doméstico são tratados juntos por sistema de lodos ativados.

TABELA 1- CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO AFLUENTE E DO EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE FITOTERÁPICOS

DADOS OPERACIONAIS	AFLUENTE (Entrada)	EFLUENTE (Saída)
Vazão	15m ³ /dia	*
pH	4 a 9	7 a 8
DBO	*	2,7 mg /L
DQO	4.725 mg /L	7,7 mg / L
ST	903 mg /L	*
SVT	354 mg / L	*
Nitrogênio Total		3,3 mg /L
Fósforo Total		1,3 mg / L
Óleos e Graxas		5,3 mg / L
Sólidos Sedimentáveis		< 0,1ml /Ll
Surfactantes		< 0,03 mg /L

FONTE: RELATÓRIO TÉCNICO - UFPR, 2001.

Em estações que contêm esgoto residencial e contribuição industrial pode ocorrer uma carga orgânica muito acima da prevista para esgoto doméstico (AISSE et al., 1999). Quando os despejos são tratados por sistema aeróbio de lodo ativado, parte da matéria orgânica é degradada por bactérias aeróbias, resultando CO_2 , H_2O e NH_3 ; a energia liberada é usada para sintetizar a matéria orgânica e produzir novas células (BRAILE, 1997).

A quantidade de lodo produzida em uma estação está diretamente ligada a sua carga orgânica. A Tabela 2 mostra a composição do lodo bruto e lodo digerido de uma estação de tratamento de esgoto cuja composição apresenta sólidos orgânicos e inorgânicos.

TABELA 2- COMPOSIÇÃO TÍPICA DE LODO DE ESGOTO

Características	Unidade	Lodo Bruto		Lodo Digerido	
		Intervalo	Média	Intervalo	Média
Sólidos totais (ST)	%	2,0-8,0	5	6,0-12,0	10
Sólidos voláteis (SV)	% de ST	60-80	65	30-60	40
Nitrogênio	N, % de ST	1,5-4,0	2,5	1,6-6,0	3
Fósforo	P_2O_5 , % de ST	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5
Potássio	K_2O , % de ST	0-1,0	0,4	0,3	1
pH		5,0-8,0	6	6,5-7,5	7
Alcalinidade	$\text{Mg CaCO}_3\text{L}^{-1}$	500-1500	600	2500-3500	3000
Ácidos Orgânicos	MgL^{-1}	200-2000	500	100-600	200

FONTE: METCALF e EDDY (1985)

O tratamento de despejos orgânicos por processos biológicos não elimina totalmente a poluição e sim converte uma grande proporção do material dissolvido em lodo. O lodo é, portanto, um resíduo gerado nas estações de tratamento de efluentes que concentra grande parte da carga poluidora removida do efluente tratado. A produção do lodo e sua estabilização são realizadas em meio líquido e geram um material de alto teor de umidade. (JORDÃO, 1982).

Esse lodo necessita de um desaguamento para reduzir seu volume em excesso por meio da redução de água.

3.2 DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO LODO

Os lodos de esgoto contêm diversas frações de água as quais incluem água livre, água intersticial, água vicinal e água de hidratação.

VESILIND (1994) define quatro categorias para a água no lodo:

- a) água livre: é aquela retida entre flocos de maneira similar a uma esponja, que não está associada com as partículas sólidas e pode ser facilmente separada por gravidade;
- b) água intersticial: é a umidade do floco quando o lodo está em suspensão e está presente nos capilares quando a torta é formada;
- c) água vicinal ou de superfície: é aquela não removível, pois está presa na superfície das partículas sólidas por adsorção e adesão;
- d) água de hidratação ou intracelular: é aquela que também não é removível e está quimicamente ligada às partículas sólidas.

Os processos convencionais de desidratação removem apenas a água considerada livre.

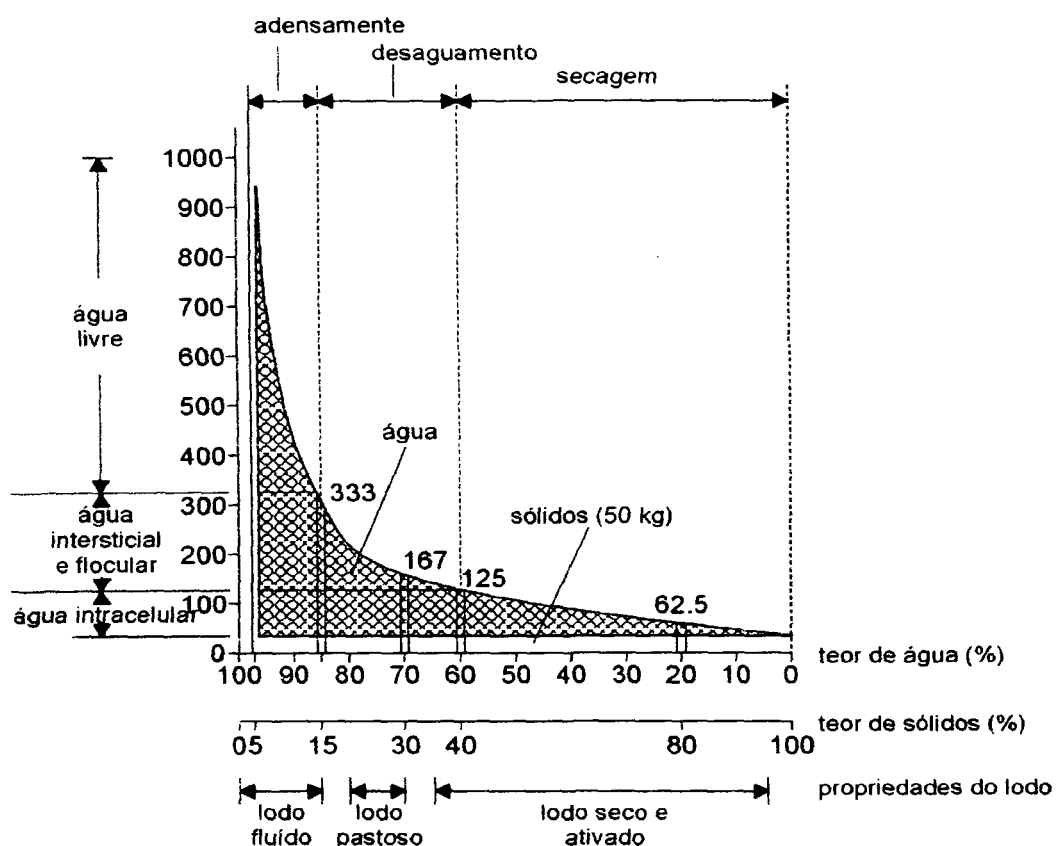
Segundo SMOLLEN (1998) a água vicinal e a intersticial não podem ser removidos por processos de desaguamento convencional. ROBINSON e KNOCKE (1992) relataram que a água intersticial pode ser removida utilizando-se temperaturas

constantes de 35° C, restando apenas a água vicinal e a de hidratação.

Segundo IMHOFF (1976), em sistema de desidratação do lodo por leito de secagem, já no primeiro dia se completa, após descarte do mesmo no leito, por flutuação, a separação entre os sólidos e a maior parte da água intersticial do lodo. A secagem por evaporação completa-se após uma ou duas semanas.

A Figura 1 demonstra a variação do volume ocupado por uma amostra de lodo em função do seu teor de água. Quando o teor de sólidos é muito baixo, uma pequena redução deste parâmetro permite grande redução do volume total (AISSE et al., 1999).

FIGURA 1 - VARIAÇÃO DO VOLUME OCUPADO POR UMA AMOSTRA DE LODO EM FUNÇÃO DO SEU TEOR DE ÁGUA



FONTE: AISSE et al., (1999).

Conforme a Tabela 3 pode-se observar que um lodo com 4% de sólidos secos

têm somente 1/13 do volume de um lodo com 0,3% de sólidos secos.

Uma grande redução no custo de disposição ocorre quando o lodo é desidratado de uma concentração de 2% de sólidos para 20% de sólidos, pois seu volume é grandemente reduzido. O lodo biológico necessita, portanto de um desaguamento para reduzir seu volume em excesso por meio da redução de água, para viabilizar sua utilização posterior.

TABELA 3 - COMPARATIVO ENTRE VOLUME, TEOR DE SÓLIDOS SECOS E VOLUME DE LODO

Conteúdo de umidade (%)	Teor de sólidos secos (%)	Volume relativo de lodo (%)
99,9	0,1	100
99,7	0,3	33
99,5	0,5	20
99,0	1,0	10
98,0	2,0	5
97,0	3,0	3,3
96,0	4,0	2,5
95,0	5,0	2,0
90,0	10,0	1,0
80,0	20,0	0,5
70,0	30,0	0,33
88,0	40,0	0,25
50,0	50,0	0,20

FONTE: BRAILE (1979).

3.3 DISTRIBUIÇÃO DOS SÓLIDOS NO LODO

O lodo é composto por sólidos e água. Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos contribuem para a carga de sólidos.

Segundo SPERLING (1996) os sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e estado, suas características químicas e sua decantabilidade.

3.3.1 Classificação por tamanho

- Sólidos dissolvidos: compreende sólidos em solução verdadeira e os em estado coloidal não retidos na filtração.

- Sólidos em suspensão: Os sólidos em suspensão de um despejo são removidos parcialmente nos decantadores primários (aí ficam especialmente os sólidos decantáveis). Todavia, com os processos biológicos, graças à floculação que ocorre, parte dos sólidos em solução e em estado coloidal, além dos em suspensão, são transferidos para massa de lodo sendo depois eliminados.

3.3.2 Classificação por características químicas

Ao ser submetido a uma temperatura de 550°C, a fração orgânica é oxidada (volatilizada), permanecendo apenas a fração inerte (não oxidada):

Sólidos voláteis: representam uma estimativa da matéria orgânica (fração orgânica).

Sólidos fixos: representam a matéria inorgânica ou mineral (fração inerte).

3.3.3 Classificação pela decantabilidade

O cone de Imhoff é utilizado para medir os sólidos pela sua decantabilidade.

Sólidos sedimentáveis: aqueles que são capazes de sedimentar em um período de 1(uma) hora em cone Imhoff.

Sólidos não sedimentáveis: a fração que não sedimenta no período de 1 (uma) hora em cone Imhoff.

3.4 DESAGUAMENTO DO LODO EM LEITOS DE SECAGEM

A secagem do lodo provoca um grande impacto na sua disposição final, pois quando o lodo é desidratado e passa de uma concentração inicial de 2% de sólidos para 20%, o seu volume é reduzido em 90% (OUTWATER, 1994).

A capacidade de desaguamento varia de acordo com o tipo de lodo e pode ser realizado através de meios naturais ou mecanizados.

Os processos de secagem natural ao ar livre utilizam a evaporação e a percolação como principais mecanismos de remoção de água (ANDREOLI et al., 2001).

A desidratação de lodo através de leito de secagem é uma das mais antigas técnicas utilizadas, que não difere muito dos filtros de areia tradicionais (VAN HANDEL, 1994). Os leitos de secagem são unidades onde se processa a redução da umidade com drenagem e evaporação da água durante o período de secagem (AISSE et al., 1999).

No Brasil, a NB 570/1990- Projetos de estações de tratamento de esgoto sanitário – ABNT, regulamenta os projetos de leito de secagem.

Segundo JORDÃO e PESSOA (1982), os leitos de secagem são constituídos de camada suporte, meio filtrante e camada drenante. A camada suporte normalmente é constituída de tijolos com afastamento de 2 a 3cm preenchidos com areia grossa. O meio filtrante é constituído por três camadas de pedras britas de granulometrias diferentes. A camada inferior tem granulometria maior que a camada superior.

Na camada drenante há canos perfurados com o objetivo de recolher o efluente que percola através da camada filtrante (JOST, 1989).

O tempo necessário para um ciclo de secagem do lodo (T_t) num leito se compõe de quatro períodos diferentes: $T_t = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$

T_1 = Tempo para precipitação do leito e descarga do lodo

T_2 = Tempo de percolação

T3= Tempo de evaporação para se atingir a fração desejada de sólidos;

T4= Tempo para remoção de sólidos secos.

Os períodos T1 e T4 dependem essencialmente de fatores relacionados com a gerência do leito.

Segundo SPERLING (2001) as principais vantagens dos leitos de secagem são:

- a) baixo valor de investimento;
- b) simplicidade operacional;
- c) baixo consumo de energia e produto químico;
- d) torta com alto teor de sólidos.

3.4.1 Experimentos com leitos de secagem

AISSE (1999) realizou um programa de monitoramento da desidratação do lodo em leitos de secagem em Curitiba, apoiado numa instalação piloto (em nível experimental) construída na PUCPR e em leitos de secagem em escala real, localizados em áreas contíguas a um RALF, situado na cidade da Lapa-PR. Os pilotos em número de dois, coberto e descoberto foram construídos em tubos de PVC, com aproximadamente 300 mm de diâmetro.

O tempo de secagem (evaporação e percolação) resultante na ETE-Lapa foi de 29 dias para obterem-se sólidos totais (ST)= 27,6%.

Nas instalações piloto o leito de secagem apresentou um desempenho um pouco inferior ao da ETE-Lapa, pois em 34 dias obteve-se ST de 24,5%. A coleta que foi realizada na superfície do leito pode não representar o teor médio da umidade em toda a sua profundidade. Segundo AISSE (1999) essa foi uma limitação observada no piloto de pequenas dimensões.

LIMA et al., (1998) realizaram experimentos sobre a desidratação de lodos dos sistemas Eldourado e Feu Rosa, situados na região da Grande Vitória – ES. Foram testados lodos de duas lagoas anaeróbias em leitos de secagem, submetidos a diferentes

taxas de aplicação de lodo. As taxas utilizadas eram superiores às recomendadas pela Norma Técnica Brasileira para projeto de leitos de secagem, em função do elevado teor de sólidos presentes no lodo. Lodo de lagoas anaeróbias com teores de sólidos de 7 a 10% desidrataram bem com taxa de $26,3 \text{ KgST/m}^2$ para ciclo de 27 dias. O teor de sólidos na torta é de aproximadamente 30%. Para o experimento a céu aberto, teores de sólidos acima de 27,4% só foram conseguidos com ciclo de 35 dias, para uma taxa de $19,10 \text{ KgST/m}^2$. A eficiência da remoção da fase líquida para o lodo da lagoa anaeróbia de Eldorado (sem interferência das chuvas), foi de no máximo 43% e no mínimo de 36%, aos 38 dias. Para a Feu Rosa (com interferência de chuvas), a máxima conseguida foi de 60% e mínima 48% para o mesmo período.

Segundo JORDÃO e PESSOA (1982), o lodo em condições normais de secagem poderá ser removido do leito de secagem depois de um período de 20 a 40 dias quando o teor de matéria seca atinge 30%.

FERREIRA (2001) realizou experimentos em leitos de secagem com o uso do processo de solarização que se baseia no aproveitamento da energia solar por intermédio de um filme plástico transparente colocado sobre a superfície do lodo. A solarização apresentou ótimos resultados para remoção de agentes patogênicos. Com relação a secagem o processo foi ineficiente, pois apresentou, ao final de 28 dias, teores finais médios de 26,3, 21,4 e 24,1% de remoção de sólidos totais.

CHERUBINI (2002) realizou experimentos com lodo anaeróbio disposto em leito de secagem alternando períodos de secagem com solarização. Foi testada inicialmente a disposição de lodo em leito de secagem convencional por período de 30 dias. Após este período o leito de secagem foi coberto por filme plástico por um período de mais 30 dias (secagem+ solarização). Em um segundo experimento, o lodo disposto em leito de secagem foi coberto por filme plástico por um período de 30 dias e após este período o filme plástico foi retirado, permanecendo o lodo no leito de secagem sem cobertura alguma por um período de mais 30 dias (solarização+ secagem). No

tratamento solarização+secagem a temperatura na massa do lodo permaneceu por um período de 33,28 horas igual ou acima de 35 °C nos primeiros 30 dias.

O processo de (secagem +solarização) alcançou ao final do experimento teores de sólidos de 36% e o de (solarização+secagem) teores de sólidos de 45%.

3.4.2 Leito de secagem modificado com manta de poliéster.

Algumas indústrias químicas de Curitiba que possuem sistema de desidratação por leitos de secagem utilizaram uma modificação na camada suporte do leito. Através de uma manta de tecido resistente (poliéster), que possui dupla costura, os sólidos presentes no lodo ficam retidos na superfície do leito permitindo a passagem da água livre. Como mostra a Figura 2, a manta fica fixada nas paredes do leito de secagem por anilhas plásticas. Com esta inovação aumenta-se a vida útil da camada suporte que em geral é constituída por tijolos e que são substituídos quando ocorre a colmatação da mesma. Outra vantagem verificada é que os sólidos são mais facilmente retidos. Em estações que geram pequenas quantidades de lodo a manta com o lodo seco pode ser removida do leito e aberta para facilitar a secagem. Essa inovação teve seu projeto aprovado pelo IAP.

FIGURA 2 – LEITO DE SECAGEM COM CAMADA SUPORTE DE POLIÉSTER



Fonte: Indústria Editel-Curitiba, 2001.

3.5 ORGANISMOS PRESENTES NO LODO

3.5.1 BACTÉRIAS

Bactérias são os organismos típicos mais frágeis aos processos de tratamento de lodos e sua incidência é grandemente reduzida pela radiação solar e desidratação do lodo.

Entre as principais doenças de origem bacteriológica estão o tifo e diarreias causados por espécies de *Salmonella* e outras infecções entéricas. *Salmonella* sp. exige alta concentração para se manifestar em portadores saudáveis, mas pode causar de gastroenterites a septicemia e mesmo meningites e a morte. É transmissível por água e alimentos e pelo contato direto com animais e humanos infectados. É comum a ocorrência de colônias remanescentes após infecções humanas agudas. Num estudo

conduzido no Brasil, MARTINS *et al.* (1986) apontaram *Salmonella* sp. como excelente indicador para o estudo da descontaminação de lodos por sua resistência a tratamentos e pressões de sobrevivência no ambiente. As autoras encontraram grande variabilidade nos teores de *Salmonella* sp. em lodos digeridos, mas pouca incidência em amostras de lodo prensado após condicionamento químico. Quando a alcalinização por tratamento químico atingiu pH 12 houve eliminação da bactéria.

Shigella sp. ocasiona diarreias agudas e associa-se sempre a condições deficitárias de saneamento básico. Ocorre apenas no homem e é transmitida por água, alimentos e pelo contato direto com infectados. *Shigella* sp. tem dose de infecção menor que a de *Salmonella* sp. e, tende a sobreviver pouco no ambiente.

Embora os coliformes sejam bactérias características da flora intestinal humana e de muitos animais, alguma cepa de *Escherichia coli* pode causar diarreias infantis sérias e gastroenterites e infecções urinárias em adultos (HAYS, 1997). Sensíveis à maioria dos métodos de desinfecção de lodos, coliformes fecais foram reduzidos em 99,9% após condicionamento químico e passagem por prensa desaguadora, enquanto que a redução de estreptococos fecais foi inferior - da ordem de 99,6% - em concordância com dados internacionais (MARTINS *et al.*, 1986).

Em condições ótimas de aplicação, 92 a 97% dos coliformes são retidos no primeiro centímetro de solo (USEPA, 1985) e são bastante raras as bactérias que ultrapassam os 50 cm no perfil do solo. São de interesse especial para pastagens *Salmonella* spp, *Mycobacterium bovis* e *M. tuberculosis*, *Leptospira* sp. e *Brucella* sp., que podem infectar o gado.

Os estreptococos fecais constituem um grupo de bactérias reconhecidas como indicadores de contaminação fecal. O habitat normal deste grupo de bactérias é o trato intestinal humano e de outros animais. Este grupo engloba muitas espécies de bactérias que apresentam diferentes graus de resistência às variações ambientais. Em relação à origem fecal das bactérias, a espécie *Streptococcus faecalis* é exclusiva de fezes

humanas. Vários outros biótipos não são restritos ao intestino do homem e outros animais de sangue quente, podendo ocorrer associados à vegetação e a certos tipos de solos. A resistência das bactérias estreptococos aos fatores ambientais justifica a utilização destes parâmetros em estudos que visem avaliar a eficácia dos processos do tratamento do lodo de esgoto (ANDRAUS et al., 1999).

3.5.2 Vírus

Partículas virais não se reproduzem fora de células hospedeiras e são específicas ao nível de espécie. Exceção é feita aos reovirus e rotavirus com sorotipos similares em gado e suínos e em outros animais, inclusive o homem - e ao vírus da hepatite A, infectivo ao homem e a outros primatas e segundo MENDES (1981), o vírus que suscita maior preocupação sanitária quando da aplicação agrícola de lodos.

Os vírus são moderadamente resistentes à cloração e à digestão mesofílica do lodo, mas podem ser virtualmente eliminados por tratamento térmico e compostagem (EPS, 1984). A radiação solar, a predação e a competição minimizam as possibilidades de infecção dos vírus após a aplicação ao solo. MARTINS *et al.* (1986) enfatizam quanto aos vírus o problema de contaminação de águas superficiais e subterrâneas e reportam o isolamento de enterovírus em 11 de 12 amostras de lodo digerido adensados e após centrifugação. A estabilização química com alcalinização até pH 12 e secagem em prensa desaguadora removeram 100% do teor de enterovírus presentes nestes lodos. Uma relação dos vírus de importância sanitária é apresentada na Tabela 4.

TABELA 4 - VÍRUS DE IMPORTÂNCIA SANITÁRIA, ENFERMIDADE ASSOCIADA E RESERVATÓRIOS (QUANDO NÃO ESPECÍFICOS)

Vírus / reservatório não específico	Doença
Poliovírus	Paralisia, meningite, febre
Coxsackievírus A	Herpangia, doenças respiratórias, meningite, febre
Coxsackievírus B	Miocardite, anomalias cardíacas congênitas, febre, meningite.
Enterovírus genéricos	Meningite, encefalite, doenças respiratórias, conjuntivite hemorrágica aguda, febre
Hepatite A / outros primatas	Hepatite infecciosa
Vírus gastroenteríticos	Febre Norwalk (América do Norte), vômitos e diarreia, febre
Rotavírus / animais domésticos	Vômitos e diarreia (principalmente em crianças)
Reovírus	não claramente estabelecida
Adenovírus	Doenças respiratórias e oculares
Parvovírus	associado a doenças respiratórias infantis

FONTE: EPS (1984)

3.5.3 Fungos

Resultados de investigações sobre fungos em lodos de esgotos não são freqüentes na literatura internacional. Um trabalho conduzido no Brasil com lodos da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental/Cetesb, no entanto, forneceu alguns indicativos sobre a presença do reino em amostras de lodos digeridos bruto e centrifugados, que apresentaram alta incidência de bolores dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Scedosporium*, *Penicillium*, *Cephalosporum*, *Verticillium* e *Trichoderma* com maior importância e leveduras com os gêneros *Candida*, *Trichosporum*, *Rhodotorula*, *Torulopsis* e *Geotrichum* (GAMBALE *et al.*, 1987). Tal presença pode ser associada à estratégia de propagação da maioria dos fungos, que lhes permite a colonização dos mais diversos ambientes. Dos 28 gêneros detectados no estudo, cerca de 60% utilizam como via de dispersão o ar atmosférico e relaciona-se a alergias das vias respiratórias e do tubo digestivo do homem e de outros animais.

Dados de LOEHR (1981) apontam a presença de altas concentrações de

esporos de *Aspergillus fumigatus* em áreas de desenvolvimento de processos de compostagem.

Ainda no trabalho de GAMBALE *et al.* (1987) foi testada a eficiência de tratamento térmico (50° C a 115° C durante 5 a 15 minutos) na redução do número de gêneros e colônias de fungos, mas não houve efetividade. Após tratamento químico (cloreto férrico e cal) houve redução de 50% do número de gêneros de bolores e 70% no número de colônias de leveduras, mantendo-se, entretanto a variedade de gêneros.

3.5.4 Protozoários

Os cistos de protozoários eliminados com as fezes não se multiplicam no meio externo. Eles sobrevivem pouco tempo no meio ambiente.

Entre os organismos de maior interesse sanitário está *Entamoeba histolytica*. Processos de estabilização química não demonstram eficiência como neutralizantes de cistos de protozoários nos lodos, mas processos de estabilização biológica são tidos como eficazes (USEPA, 1985). Os protozoários de interesse sanitário são listados na Tabela 5.

TABELA 5 - PROTOZOÁRIOS DE INTERESSE SANITÁRIO, DOENÇAS PROVOCADAS E RESERVATÓRIOS

Protozoário	doença	Reservatórios
<i>Balantidium coli</i>	balantidíase	homem e suínos
<i>Entamoeba histolytica</i>	amoebíase	homem
<i>Giardia lamblia</i>	giardíase	homem, animais domésticos e selvagens

FONTE: EPS (1984)

A metodologia para detecção destes patógenos é cara, demorada e os índices de recuperação diferem muito nos trabalhos (FALK *et al.*, 1998). O método de Faust, que utiliza solução de sulfato de zinco a 33% pode ser usado na recuperação destes patógenos, como, por exemplo, os cistos de protozoários patogênicos, sendo este um

método padrão para estas determinações. Em estudo realizado por GUILHERME et al. (1997) foram testados 3 concentrações (33%, 50% e 75%) da solução de sulfato de zinco com o objetivo de aumentar o índice de recuperação para o método de Faust. Além da concentração da solução, foram testados 2 tempos de repouso da amostra antes da análise. Para os testes, o lodo de esgoto foi previamente contaminado com um coquetel de (oo) cistos de protozoários patogênicos. O melhor índice de recuperação foi obtido com a solução de sulfato de zinco 50% e tempo de repouso da amostra de 24 horas antes da análise.

3.5.5 Helmintos

Os helmintos de interesse sanitário no lodo de esgotos são os nematóides e cestóides. Os nematóides são um grande grupo de metazoários que infestam o homem e outros animais sem necessidade de um hospedeiro intermediário. *Ascaris lumbricoides* é o nematóide de maior interesse por apresentar ovos de constituição particularmente resistente e capazes de sobreviver no solo, por até sete anos, de acordo com o limite documentado. Após a ingestão de ovos por um hospedeiro, larvas penetram a parede intestinal e através da corrente sanguínea passam pelo fígado e atingem as vias respiratórias e a faringe, ocasionando a Síndrome de Loeffler (caracterizada por tosse, dores no peito, perda de fôlego e febre), que ocasiona novamente sua deglutição e a migração e maturação no intestino delgado. Grandes infestações causam distúrbios alimentares e do sono e vômitos. *A. lumbricoides* podem ocasionalmente infestar o fígado e apêndice, onde manifestam sintomas mais severos e podem levar ao óbito do hospedeiro. *A. suum* é característico de suínos e pode infestar o homem até o estágio de desenvolvimento caracterizado pela Síndrome de Loeffler, mas provavelmente não completa o ciclo no homem.

Ovos de nematóides são mais resistentes a tratamentos de lodos que cestóides.

A perda de umidade eventualmente destrói ovos de helmintos e cistos de protozoários, mas algumas formas e particularmente *Ascaris* spp. são notavelmente resistentes à dessecação.

Segundo EPS (1984), após a aplicação de lodo ovos de nematóides se concentram nos primeiros 2,5 cm do solo a partir da superfície numa distribuição não uniforme, formada por pacotes de alta densidade. A infestação por nematóides requer contato direto ou ingestão de ovos. Este fator, além do declínio gradual no número de ovos após a exposição ao ambiente, afeta as possibilidades de infestação por esta fonte.

neurofisiológicos e psicológicos graves e tem altos níveis de letalidade e a cisticercose ocular provoca problemas visuais graves, dores a níveis críticos e cegueira.

Segundo REIFF (1994) o tratamento de lodos por digestão a temperaturas mesofílicas de até 34° C não elimina ovos de helmintos, que resistem também à dessecação em leitos de secagem.

MARTINS *et al.* (1986) verificaram redução de 99,6% em amostras de lodo após secagem em prensa e mencionam um alto grau de inativação de ovos após a alcalinização do meio até pH 12. A digestão a temperaturas termofílicas (50° C ou mais) tem maior efeito sobre ovos de helmintos. Desta forma e segundo REIFF (1994) o mais efetivo método de eliminação de ovos de helmintos parece ser a compostagem, desde que atinja e mantenha temperaturas superiores a 65° C por mais de sete dias.

O tempo de sobrevivência de ovos no ambiente depende da umidade, luz do sol e outros fatores ambientais. Ovos de *Ascaris* spp., *Toxocara* spp. e *Trichiurus* sp. foram isolados frequentemente de terras após incorporação de lodos anaerobicamente digeridos e ovos de *Taenia* spp., *Hymenoleptis* sp. e *Toxascaris* sp. com pequena frequência. Já foi evidenciado desenvolvimento destes vermes no solo (HAYS, 1997), fato esperado quando se lembra que parte do ciclo vital de muitos helmintos se passa no solo. A exposição à dessecação pelo sol e à competição e predação da fauna edáfica parece, no entanto, ser um eficiente fator de eliminação destes parasitos do solo agrícola,

uma vez que poucos ovos de *Ascaris* spp. não viáveis foram recuperados de solos após 1,5 ano de aplicação em campo (EPS, 1984). Não obstante, evidências indicam que ovos de *Ascaris* spp., *Trichiurus* sp. e *Toxocara* sp. podem sobreviver em pastagens vários anos e sobre solos por um ano, embora de fato tendam a sobreviver poucas semanas em lodos aplicados a pastagens bem drenadas e durante épocas quentes e secas do ano ou cerca um mês em épocas frias e úmidas.

3.6 PROCESSOS DE HIGIENIZAÇÃO

Os lodos gerados nas estações de tratamento apresentam odores desagradáveis, presença de organismos patogênicos, elementos tóxicos de origem orgânica ou mineral e dificuldade de desidratação. (AISSE et al., 1999).

Do ponto de vista biológico, o lodo concentra a maioria dos organismos presentes no esgoto sanitário, podendo se constituir em significativa ameaça à saúde pública. Neste contexto, a higienização tem como principal objetivo eliminar ou reduzir a densidade de microrganismos patogênicos, constituindo-se em importante ferramenta para a ampliação do leque de opções seguras para manuseio e disposição no solo (GONÇALVES e LUDOVICE, 2000).

A origem da contaminação microbiológica do lodo é principalmente devida ao material fecal contido no esgoto, portanto dependente das características epidemiológicas da população que produz os efluentes lançados na rede coletora. Os agentes patogênicos do esgoto se concentram durante o processo de sedimentação, pois grande parte dos organismos existentes co-precipitam junto às partículas orgânicas (SANEPAR, 2000).

Os tratamentos mais utilizados na higienização do lodo são a caleação e a compostagem. O tratamento químico alcalino pode ser realizado através da cal virgem (CaO) ou da cal hidratada. A eliminação de patógenos se dá por efeito da elevação do

pH à níveis iguais ou superiores a 12.

A compostagem elimina os agentes patogênicos pelo efeito da temperatura e tempo de exposição.

FERNANDES et al., (1999) realizaram na ETE-BELÉM em Curitiba-PR, experimentos com tratamento com cal e compostagem com resíduo ligno-celulósico, para verificar a eficiência na eliminação de patógenos em lodo de esgoto.

Na caleagem foram incorporadas ao lodo doses de 30%, 40% e 50% de seu peso seco, o o pH da mistura foi sempre mantido igual ou superior a 12. Não foi observada diferença importante entre os tratamentos, ficando, os melhores percentuais de redução a 50%: 99,9% para coliformes totais, 100% para coliformes fecais, 100% para *Salmonella* sp., 100% para estreptococos fecais, 77% .As misturas em compostagem apresentam fase termófila de 45 dias em média, com temperaturas acima de 60° por mais de 15 dias. Os melhores índices de redução após a fase termófila foram de 72,3% para coliformes totais, 99,8% para coliformes fecais, 84% para estreptococos. O gênero *Salmonella* sp, não foi detectado. Segundo FERREIRA et al., (1999) os agentes patogênicos constituem-se em fator de limitação do uso do lodo na agricultura, que pode ser controlado através de soluções técnicas de eliminação dos patógenos .

Os ovos de helmintos e coliformes fecais foram estabelecidos como indicadores do perfil sanitário do lodo no Estado do Paraná.

Os limites permitidos segundo a EPA e a Instrução Normativa do Instituto Ambiental do Paraná (IAP), que seguem os mesmos limites para estes elementos biológicos, estão indicados na Tabela 6.

TABELA 6 - LIMITE DE PATÓGENOS PRESENTES NO LODO DE ESGOTO PARA A RECICLAGEM AGRÍCOLA NO PARANÁ

PARÂMETROS	LIMITES
Helmintos (contagem de ovos viáveis)	0,25 ovos/gMS
Coliformes fecais	10^3 NMP.g MS ⁻¹

FONTE: FERNANDES et al., (1999).

Segundo a CETESB (1998), no estado de São Paulo foram estabelecidos os coliformes fecais e a *Salmonella* sp como indicadores de patógenos no lodo.

O limite para coliformes deve ser inferior a 10^3 NMP.g ST⁻¹ (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais) e para *Salmonella* sp inferior a 3NMP.4g ST⁻¹ (Número Mais Provável por 4 g de Sólidos Totais).

Segundo SILVA e RIBEIRO (2000) outro método eficiente de eliminação de bactérias, fungos, vírus e nematóides é a solarização. Ele consiste na disposição sobre o solo de um filme de polietileno transparente que permite a passagem dos raios solares promovendo o efeito estufa e conseqüentemente o aquecimento do solo.

A busca de alternativas viáveis para a disposição final do lodo enquadra-se na preocupação mundial referente à gestão adequada de resíduos. Para a destinação final dos lodos de esgoto, são necessárias a definição e implementação em curto prazo de soluções definitivas para o problema e, dentro deste quadro, coloca-se a necessidade de elaboração de formas de inferência dos impactos potenciais relacionados a cada prática de disposição adotada. A definição de um sistema de tratamento e disposição final do lodo deve ser parte do planejamento e projeto de uma unidade de tratamento de esgotos (USEPA, 1979).

3.7 A RECICLAGEM AGRÍCOLA COMO FORMA DE DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO

A reciclagem agrícola é a disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas, após tratamento adequado do produto e sua mistura a outros materiais como cal, materiais carbonáceos ou fertilizantes minerais. É a alternativa de disposição final de menores impactos ambientais negativos e tem sido praticada em muitos países desenvolvidos como solução mais adequada à destinação do produto.(ANDREOLI et al., 1997).

Os lodos oriundos de estações de tratamento de esgoto recebem também contribuição industrial proveniente principalmente de ligações clandestinas.

No Estado do Paraná, as redes de esgotos coletam quase na totalidade esgotos domésticos. Por força legal, os efluentes industriais são pré-tratados para lançamento em redes de águas pluviais ou de esgotos. Exceções podem ocorrer na região metropolitana de Curitiba ou nas principais cidades do Estado (ILHENFELD et al, 1999).

Muitas indústrias depuram seus efluentes juntamente com o esgoto doméstico para melhorar o tratamento biológico das estações. As bactérias e outros organismos presentes no esgoto são importantes para manter o tratamento biológico em equilíbrio, servindo também como indicadores do funcionamento do sistema.

O lodo proveniente das estações de tratamento de esgotos sanitários, processados de modo a permitir o seu manuseio de forma segura na utilização agrícola é denominado de biossólido.

A nova legislação ambiental responsabiliza o produtor de resíduos, pelos efeitos que possam causar no ambiente a curto, médio e longo prazo, independente de quem deverá manter registros que comprovem a qualidade dos biossólidos produzidos, relacionando os lotes de lodo às áreas onde forem aplicados, de forma a possibilitar a

comprovação de adequação desta atividade em qualquer tempo (ILHENFELD et al., 1999).

3.7.1 Nutrientes

Do ponto de vista agrônomo, os lodos apresentam em sua constituição quantidades significativas de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas.

A presença destes elementos no lodo depende do esgoto que lhe deu origem e do processo de tratamento do esgoto e do lodo. (ANDREOLI et al., 2001).

Os biossólidos contêm matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo.

Na Tabela 7 são apresentadas comparações com relação aos parâmetros agrônômicos dos biossólidos produzidos em ETES da Região Metropolitana de São Paulo. Observa-se que, as quantidades de nitrogênio variam de 2,2 a 5,5%, as concentrações de fósforo variam de 0,60 a 3,7%, decorrentes do processo de tratamento da fase líquida e da fase sólida dos esgotos. As concentrações de potássio são pequenas porque esse elemento fica contido no efluente líquido. A matéria orgânica varia de 41 a 69,4%.

TABELA 7- PARÂMETROS AGRONÔMICOS DOS BIOSSÓLIDOS

Parâmetro	Estação de Tratamento de Esgoto								
	Valores em porcentagem (base seca)								
	Barueri	Franca	Suzano	Avapés (São José Campos)	Bertioga	Humaitá (São Vicente)	Bichoró (Monga- guá)	Brasília	Belém (Curitiba)
Nitrogênio Total (%)	2,25	5,53	2,31	4,50	3,93	4,10	4,84	5,50	4,91
Fósforo (%)	1,48	0,93	2,65	2,59	2,60	0,60	2,89	3,00	3,70
Potássio(%)	0,01	0,26	0,10	0,39	0,35	0,15	0,10	0,35	0,36
Matéria orgânica %)	44	65,2	41	52,6	68,3	63,4	71,4	52,5	69,4
Cálcio (%)	7,29	2	14,6	13,3	1,30	1,95	0,63	4,5	1,59
Magnésio (%)	ND	0,22	0,22	0,27	0,37	0,27	0,24	0,35	0,60
Zinco (mg/kg)	990	1560	2705	682	438	549	556	ND	ND
Cobre (mg/kg)	348	160	543	120	136	136	231	ND	ND
Ferro (mg/kg)	15117	11995	40454	10461	66622	8064	69348	ND	ND
pH	11	6,3	11,5	12,6	6,7	5,6	3,9	7,9	5,9

FONTE: TSUTIYA et al.,(2001).

3.7.2 A importância da matéria orgânica dos bioossólidos

Lodos de esgotos são formados caracteristicamente por matéria orgânica parcialmente mineralizada e contêm altos teores de carbono-orgânico de 40 a 80 %, boa parte dos quais sob forma de constituintes húmicos.

Segundo TSUIYA (2001) “A aplicação de bioossólidos no solo causa aumento no teor de matéria orgânica, melhora o nível de fertilidade, promovendo o aumento do pH, diminuição da acidez potencial, aumento gradual na disponibilidade de nutrientes como Ca , Mg e S.”

A matéria orgânica exerce importantes efeitos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, agindo como um condicionador e contribuindo substancialmente para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A matéria orgânica melhora as características físicas do solo, agindo como agentes cimentante, promove maior agregação de suas partículas, reduz sua coesão e plasticidade e melhora sua capacidade de retenção de água.

De maneira geral, as adubações orgânicas aumentam a infiltração e a retenção de água no solo e a estabilidade dos agregados, tornando estes solos mais resistentes ao processo produtivo (ANDREOLI et al., 2001).

3.7.3 Nitrogênio

Em base de peso seco, o lodo de esgoto contém 1 a 6% de N (WEBBER e SHAMMESS, 1984) em formas orgânicas e inorgânicas, com ênfase às formas amoniacais e nítricas.

Devido à sua alta mobilidade no solo, o nitrato, decorrente da mineralização do nitrogênio, desloca-se com facilidade por baixo da zona radicular, podendo atingir as águas subterrâneas.

Conforme Portaria nº 36 de janeiro de 1990 do Ministério da Saúde, concentrações de nitrato acima de 10mg L^{-1} classificam as águas como impróprias para o consumo humano (FERREIRA et al., 1999).

RAIJ (1988) considera o N e o P como elementos mais importantes do lodo para uso agrícola.

3.7.4 Fósforo

O fósforo contido no lodo provém dos dejetos, da estrutura dos

microrganismos presentes no esgoto e dos tensoativos e sabões que utilizam fosfatos como aditivos (TSUTIYA, 2001).

A biodisponibilidade do fósforo no lodo é alta, variando de 40 a 80% do fósforo total. Algumas formas de tratamento como a calagem pode reduzir um pouco a disponibilidade do fósforo contido no lodo (ANDREOLI et al., 1997).

A norma Francesa NFU 44/041 determina a caracterização prévia dos lodos para ,através dos teores encontrados de N e P, definir qual destes nutrientes será o fator limitante e determinante da dose máxima permissível. Os lodos digeridos aerobicamente tendem a concentrar mais os nutrientes, enquanto os lodos anaeróbios são naturalmente menos concentrados. Porém, mesmo após a calagem, onde há expressiva perda de nitrogênio (em torno de 50%), tanto os lodos aeróbios quanto os lodos anaeróbios ainda apresentam teores altos de nitrogênio(N), médios de fósforo (P) e baixos de potássio(K) (ILHENFELD et al., 1999).

3.7.5 Potássio

Segundo TSUTIYA (2001), no lodo de esgoto a concentração de potássio é muito baixa, por ser esse elemento muito solúvel em água, dificultando assim sua retenção no lodo.

Devido a essa baixa concentração, o potássio é um macronutriente que deverá ser suplementado por fertilização mineral (SANEPAR, 1997).

3.7.6 Cálcio, Magnésio e Enxofre.

Esses elementos estão presentes no lodo na forma inorgânica, em concentrações que suprem a maioria das culturas agrícolas (TSUTIYA, 2001).

3.7.7 Micronutrientes

Conforme TSUTIYA (2001) “os bio sólidos contêm micronutrientes tais como, cobre, zinco, manganês, boro, molibdênio e cloro. Quando o bio sólido é aplicado em taxas suficientes para suprir as necessidades de nitrogênio, normalmente as necessidades de micronutrientes das plantas são atendidas”.

3.8 METAIS PESADOS

Os metais pesados contidos no lodo de esgoto são provenientes principalmente de efluentes industriais, águas pluviais que correm por superfícies metálicas, de água de lavagem de alguns metais e das canalizações, porém nestes casos, com níveis que não apresentam riscos.(FERREIRA et al., 1999).

Segundo TSUTIYA (1999), a presença de metais pesados no lodo de esgoto depende da representatividade dos lançamentos industriais em relação às vazões de origem doméstica, e do controle dos lançamentos industriais.

A Tabela 8 apresenta um resumo das concentrações permissíveis em bio sólidos dos Estados Unidos, Canadá, e outros 14 países europeus com normas próprias e o restante da Comunidade Européia.

Observa-se que países como Holanda e Suécia tendem a restringir os valores máximos de metais pesados. Por outro lado, os Estados Unidos recomendam os maiores níveis permitidos para todos os elementos, com exceção do chumbo. Tais divergências decorrem da Europa adotar o conceito de não degradação do solo e do meio ambiente, enquanto que os Estados Unidos basearam-se nas análises de risco.

Conforme artigo da *Communication in Soil Science and Plant Analysis* ocorreu uma falha no EPA 1993. O EPA não considerou os níveis de metais depois de 40 anos de uso quando a decomposição do solo libera alguns metais.

Em experimentos realizados na região de *Los Angeles* onde o lodo foi

comercializado para ajardinamento durante quatro décadas, foram encontrados Cinco metais (Cd, Cu, Pb, Ni, Zn) em taxas elevadas nos extratos de terra e em tecidos de folhas.

Os níveis permissíveis de metais pesados podem ser muito altos, porque o EPA não considerou as interações que acontecem quando 2 , 3 ,4 ,5 ou mais metais pesados atuam simultaneamente. (WALLACE e WALLACE, 1994).

TABELA 8 – CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS PERMISSÍVEIS DE METAIS PESADOS EM BIODISSÓLIDOS

País	Concentração máxima de metais, mg/kg (base seca)										
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
Comunidade Européia	-	20/ 40	-	-	1000/ 1750	16/ 25	-	300/ 400	750/ 1200	-	2500/ 4000
Bélgica	-	10	20	500	500	10	-	100	300	25	2000
Dinamarca	-	8	-	-	-	6	-	50	400	-	-
Inglaterra	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	-	-
Alemanha	-	20	-	1200	1200	25	-	200	1200	-	3000
França	-	20	-	2000	1000	10	-	200	800	100	3000
Grécia	-	40	-	-	1750	25	-	400	1200	-	4000
Itália	-	10	-	750	1000	10	-	200	500	-	3000
Holanda	10	5	-	500	600	5	-	100	500	-	3000
Finlândia	-	30	100	1000	3000	25	-	500	1200	-	50
Noruega	-	10	20	200	1500	7	-	100	300	-	3000
Suécia	-	4	-	150	600	5	-	100	200	-	1500
Escócia	150	20	-	800	1000	7,5	25	250	800	40	2500
Suíça	-	30	100	1000	1000	10	20	200	1000	-	1000
Áustria	-	10	100	500	500	10	20	100	500	-	2000
Canadá	75	20	150	-	-	5	20	180	500	14	1850
Estados Unidos	75	85	-	-	4300	57	75	420	840	100	7500
Est. São Paulo	75	85	-	-	4300	57	75	420	840	100	7500

FONTE: TSUTIYA, 1999.

. No Estado de São Paulo, a NORMA CETESB p. 4.230 propõe os mesmos valores de níveis máximos dos elementos adotados pela legislação norte-americana. Já no Estado do Paraná são utilizados os valores recomendados pela norma espanhola.

(TSUTIYA, 1999). A Tabela 9 apresenta os valores de metais pesados preconizados pela Espanha.

TABELA 9- VALOR LIMITE DE METAIS PESADOS EM SOLOS E EM LODOS, DE ACORDO COM O pH E DIRETRIZES DA ESPANHA.

ELEMENTO (mg/ Kg)	Valores limites nos solos		Valores limites nos lodos	
	pH<7	pH>7	pH<7	pH>7
Cd	1	3	20	40
Cu	50	210	1000	1750
Ni	30	112	300	400
Pb	50	300	750	1200
Zn	150	450	2500	4000
Hg	1	1.5	16	25
Cr	100	150	1000	1500

FONTE:ANDREOLI et al., (1997).

No Estado do Paraná, os metais pesados, apresentam-se comumente baixos teores e está associado aos rejeitos domésticos e águas pluviais. Os efluentes industriais, em função de uma política adotada pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP), são tratados antes de seu lançamento na rede coletora e a SANEPAR tem políticas restritivas em relação ao recebimento de esgoto industrial na rede coletora (ANDREOLI et al., 1997).

A Tabela 10 apresenta a média de metais pesados em lodo aeróbio da ETE Belém e em sistemas anaeróbios por Ralfs e limite de concentração de metais pesados em lodo de esgoto para a reciclagem agrícola conforme a Instrução Normativa do IAP.

TABELA 10- MÉDIA DOS TEORES DE METAIS PESADOS EM LODO AERÓBIO E ANAERÓBIO (Mg/Kg) EM RELAÇÃO AO PESO SECO

LODO	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
Aeróbio	n.d	439	178	1.0	73	123	824
Anaeróbio	n.d	89	58	0.5	40	64	456
Limite IAP	20	1000	1000	16	300	750	2500

FONTE: SANEPAR, 1997.

NOTA: (n.d. = não detectado)

Os valores encontrados para os metais pesados no Paraná estão abaixo do estabelecido pela Instrução Normativa do IAP para ser reciclado na agricultura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO

4.1.1 Local e clima

O aparato experimental foi instalado na Indústria Herbarium Laboratório Botânico Ltda, nas dependências da estação de tratamento de esgoto da Indústria, no município de Colombo-PR, na Região Metropolitana de Curitiba.

Segundo a classificação de KOEPPEN, este município está sob clima Cfb, mesotérmico úmido, com temperaturas médias do mês mais quente menor que 22° C e mês mais frio menor que 18°C, com geadas severas e frequentes, sem estação seca, com latitude de 25°26 S e longitude 49°16 W à 947 metros de altitude (IAPAR, 1978).

4.1.2 Tipo de tratamento e característica do lodo

Os resíduos gerados pela Indústria Herbarium Laboratório Botânico S.A são oriundos do setor produtivo, dos laboratórios de análises químicas e microbiológicas, além dos resíduos denominados domésticos, decorrentes de outros setores, como da área de higienização de equipamentos e dos banheiros e vestiários.

Na geração dos produtos líquidos durante o processo industrial, os setores de tinturas, cosméticos, e áreas úmidas geram efluentes. Na área de tinturas são produzidos soluções hidroalcoólicas e xaropes. Nas instalações desse setor industrial não existem ralos ou sistemas de escoamento dos resíduos. A geração dos efluentes de limpeza ocorre nas fases de decantação, filtração e centrifugação dos produtos industriais.

A produção de cosméticos gera grande quantidade de efluentes, em especial pela necessidade de limpeza do piso da área industrial da empresa.

No setor de áreas úmidas são produzidos produtos apícolas, como também xaropes, sendo que os efluentes gerados são oriundos da lavagem dos equipamentos. Na geração de produtos sólidos que inclui principalmente a formulação de produtos e produção de cápsulas, não há geração de efluentes.

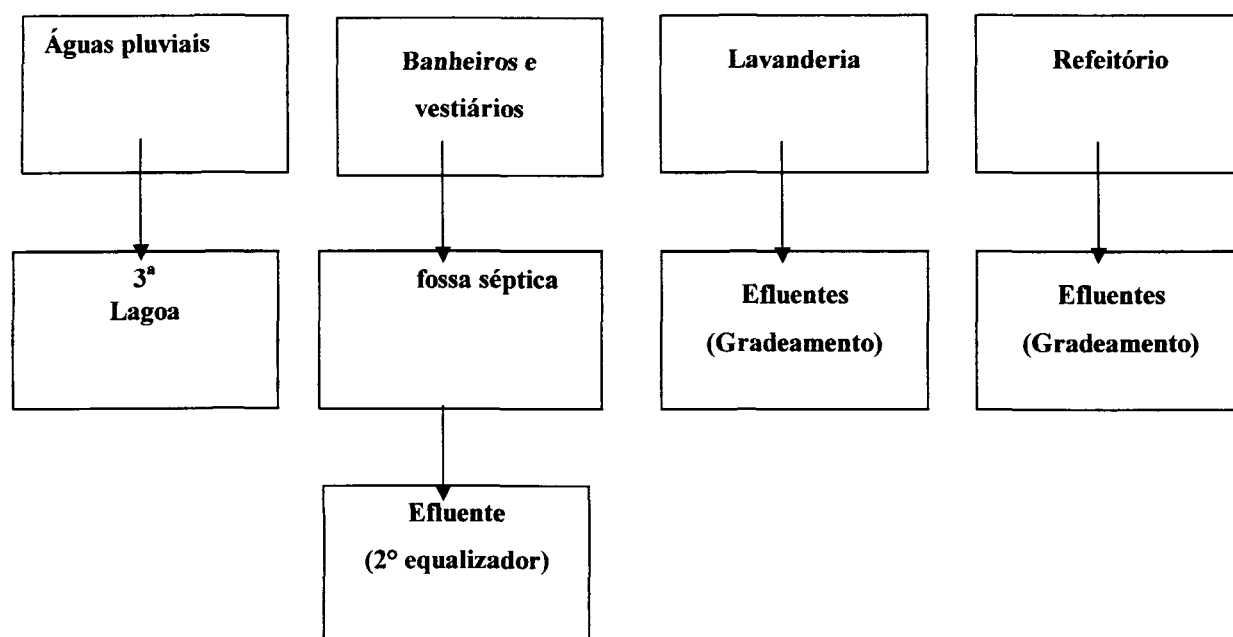
Os resíduos gerados nos laboratórios são neutralizados e armazenados em tonéis. Após a neutralização dos resíduos, os mesmos são levados para a estação de tratamento e acondicionados gradativamente no Equalizador 2.

Na área de limpeza da indústria, são efetuados os diversos procedimentos de higienização dos equipamentos e das bombonas de armazenamento de matéria-prima.

No caso dos resíduos domésticos gerados nos banheiros e vestiários, estes também são destinados a ETE – Estação de Tratamento de Efluentes.

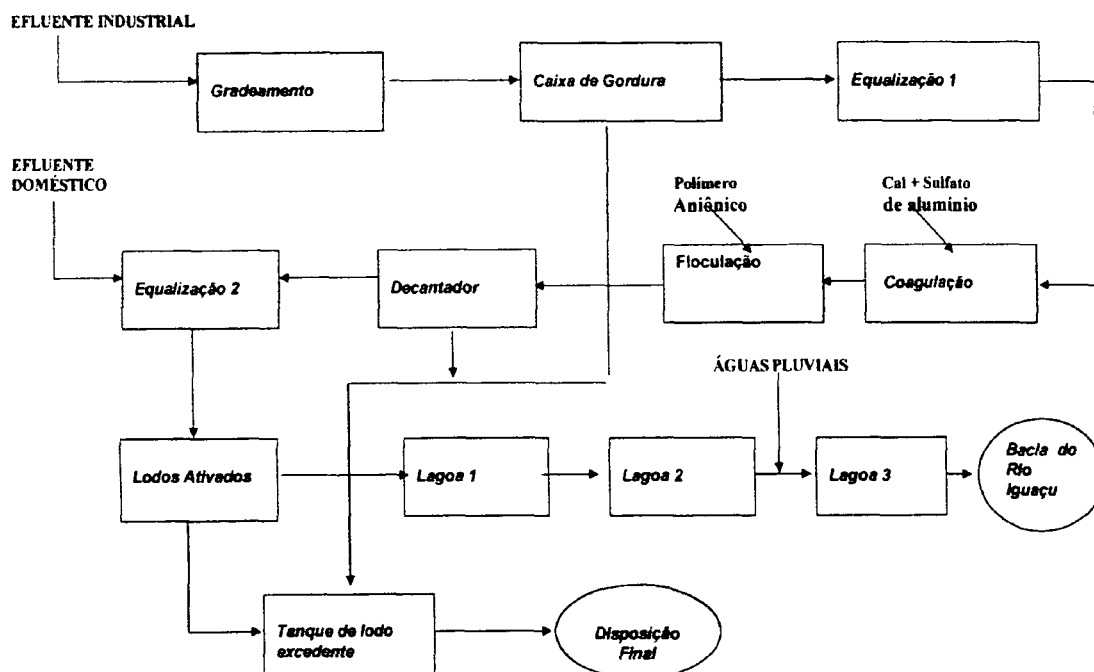
A Figura 3 demonstra um fluxograma da destinação das fontes de efluentes gerados na Herbarium. As águas pluviais também são destinadas à estação de tratamento de efluentes.

FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DO TRATAMENTO DE OUTRAS FONTES DE EFLUENTES INDUSTRIAL E DOMÉSTICO NA HERBARIUM



A Figura 4 demonstra as várias etapas que compõem a estação de tratamento de efluentes da empresa Herbarium onde o despejo industrial e o doméstico são tratados juntos.

FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA HERBARIUM



No sistema de lodos ativados após o tanque de aeração não há decantador secundário como tradicionalmente encontra-se nesses sistemas para sedimentação dos sólidos. Os sólidos são então conduzidos para o tanque de lodo excedente de onde foi retirado o lodo para os experimentos com o leito de secagem piloto. Portanto, o lodo em estudo é considerado fluído e conseqüentemente de difícil secagem.

4.2 TRATAMENTOS

Foram instalados 3 tratamentos em leitos de secagem pilotos modificados com manta de poliéster.

O ensaio realizado constituiu dos seguintes tratamentos:

- Tratamento 1- Iniciou em 12 de junho e teve duração de 90 dias. Foi utilizada cobertura com plástico transparente nos períodos de precipitações.
- Tratamento 2- Iniciou em 01 de agosto e teve duração de 50 dias. Não foi utilizada cobertura com plástico.
- Tratamento 3- Iniciou em 27 de agosto e teve duração de 30 dias. Não foi utilizada cobertura com plástico.

Foram utilizados diferentes períodos de durações nos tratamentos visto que praticamente inexistiu estudo no Paraná de secagem de lodo aeróbio fluído em leito de secagem. O tratamento 1 iniciou em 12 junho de 2001 e terminou em 10 de setembro do mesmo ano. Em períodos de precipitações o leito de secagem do tratamento 1 era coberto com plástico transparente. O tratamento 2 iniciou no dia 1º de agosto e terminou em 20 de setembro e o tratamento 3 compreendeu o período dias de 27 de agosto a 27 de setembro de 2001.

4.3 APARATO EXPERIMENTAL

Foi confeccionado um leito de secagem modificado de PVC para ser “alimentado” por bateladas para cada tratamento. Os leitos de secagem dos tratamentos foram confeccionados para acondicionar $0,051\text{m}^3$ de volume de lodo. O lodo alcançou no leito uma altura aproximada de 22cm.

A taxa de sólidos totais utilizada foi de $6,6\text{KgST.m}^{-2}.\text{ciclo}^{-1}$. A taxa de filtração foi de 1 a 3L/h para a água livre.

A Figura 5 representa um esquema do leito de secagem piloto modificado utilizado no ensaio e que foi montado em um tambor cilíndrico com 83cm de altura e com área de $0,23\text{m}^2$, possuindo 03 camadas:

- camada suporte;
- meio filtrante;
- sistema de drenagem.

A camada suporte continha tijolos com juntas preenchidas com areia. Apoiada na camada suporte foi colocada uma manta filtrante de sarja de poliéster modelo 1860-CF da Casfil. A manta de poliéster modelo MF-12 da Casfil, utilizada no leito de secagem piloto como parte da camada suporte, tinha a função de reter os sólidos permitindo sua agregação e deixando passar a água livre que era retirada na base do leito de secagem.

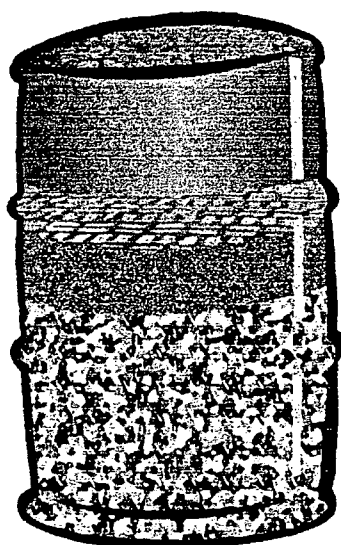
Abaixo da camada suporte encontrava-se o meio filtrante com pedras britas de granulometrias diferentes. Estas britas foram arrumadas de modo que a camada inferior tivesse granulometrias maiores do que as da camada superior.

Para a drenagem dos líquidos percolados, oriundos das camadas superiores foi instalado um registro de saída.

FIGURA 5- LEITO DE SECAGEM PILOTO

Tambor

(Leito Piloto)



Manta de Sarja

Despejo industrial
e doméstico (26 cm)

Tijolo + areia (5 cm)

Areia média (8 cm)

Pedra brita nº. 3 e 4 (44 cm)

4.3.1 Dimensionamento do leito de secagem

- Altura total do leito = ~57 cm
- Altura do tambor = ~83 cm
- Diâmetro interno = ~54 cm
- Altura útil livre = ~26 cm
- Camada de lodo = ~22 cm
- Área do leito = ~0,23 m²
- Volume de lodo = ~0,051 m³ (~51 litros)

Camadas (de baixo p/ cima):

- Brita 4 = ~18 cm
- Brita 3+4 = ~18 cm
- Brita 1+2 = ~8 cm
- Areia média = ~8 cm

- Tijolos+areia = ~5 cm

4.3.2 Parâmetros de projeto

- Taxa de aplicação:

sólidos totais(ST) = ~3% = 0,03 kg/L -> $51 \times 0,03 / 0,23 = 6,6 \text{ kg ST. m}^{-2} \cdot \text{ciclo}^{-1}$.

sólidos suspensos voláteis (SSV) = ~2,5% = 0.025 kg/L -> $51 \times 0,025 / 0,23 = 5,5 \text{ kg. SSV.m}^{-2} \cdot \text{ciclo}^{-1}$.

- Taxa de filtração: ~ 1 a 3 L/h p/ a água livre

4.3.3 Condução dos tratamentos

A Figura 6 mostra o tanque de lodo excedente com o lodo oriundo do tratamento biológico em seu interior.

O lodo do tanque de lodo excedente foi vertido através de uma mangueira de 3/4” de diâmetro , por meio do acionamento de uma bomba de diafragma de 1 CV no leito de secagem piloto modificado.

FIGURA 6 - Tanque de lodo excedente



Foram vertidos gradativamente 51 L de lodo do tanque de lodo excedente na parte superior do leito de secagem piloto, conforme demonstrado na Figura 7, sobre a manta filtrante de poliéster.

FIGURA 7 – LEITO DE SECAGEM MOSTRANDO O LODO SENDO DESCARREGADO



A Figura 8 mostra a coleta do líquido percolado (água livre) que atravessou a

camada suporte, meio filtrante e sistema de drenagem do leito de secagem e posteriormente foi acondicionado em um Becker de 1000mL.

FIGURA 8 – LEITO DE SECAGEM MODIFICADO COM O LODO VERTIDO NA SUPERFÍCIE



A Figura 9 mostra o lodo seco dentro do leito de secagem piloto onde se observa que o lodo ficou retido na manta de poliéster.

FIGURA 9- LODO SECO DENTRO DO SISTEMA DE SECAGEM



4.4 PARÂMETROS AVALIADOS E AMOSTRAGENS

Para caracterizar o lodo do tanque de lodo excedente visando determinar a taxa de aplicação a ser utilizada no leito de secagem, foi realizada uma coleta para determinação do valor de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

Para verificar o teor de resíduo seco do lodo (ST) foram realizadas coletas simples com amostragens superficiais a profundidade de 3 a 4 cm. A espessura da camada de lodo no início dos tratamentos era de 22 cm como previsto no dimensionamento dos leitos e após período de secagem a espessura ficou em torno de 9 a 10cm .

Após a descarga inicial (dia 0), o lodo no interior do leito de secagem, foi amostrado freqüentemente, para avaliar a evolução da secagem em relação ao número de dias sendo:.

Tratamento 1 –coletas realizadas nos dias 0 (zero), 8 (oito), 13 (treze), 24 (vinte e quatro), 44 (quarenta e quatro) ,49 (quarenta e nove), 62 (sessenta e dois,)73 (setenta e três) e 90 (noventa)dias.

Tratamento 2 – coletas realizadas nos dias 0 (zero), 12 (doze), 23 (vinte e três), 30 (trinta), 40 (quarenta) e 50 (cinquenta) dias.

Tratamento 3 – coletas realizadas nos dias 0 (zero), 15 (quinze), 22 (vinte e dois) e 30 (trinta) dias.

4.4.1 Fatores climáticos

Para avaliar a influência dos fatores climáticos na secagem do lodo foi realizado consulta ao SIMEPAR para obtenção de dados climáticos da região (temperatura, umidade e precipitação) para o período em estudo.

4.4.2 Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis

Para a determinação do conjunto de sólidos as amostras foram enviadas ao

laboratório do Instituto de Saneamento da PUC e foram analisadas conforme metodologia do *STANDARD METHODS* (1998).

4.4.3 Teor de resíduo seco no lodo (ST)

Para determinação do teor de resíduo seco, as amostras foram enviadas ao laboratório do Instituto de Saneamento ISAM/PUC e foram analisadas pelo método de KIEHL (1985).

A fórmula utilizada para cálculo do resíduo seco foi:

Resíduo Seco a 65°C (RS) = $P3 - P1$ (g/g amostra)

% umidade 65°C = $\frac{(P2 - RS) \cdot 100}{P2}$

Onde:

P1 = peso da cápsula vazia (g)

P2 = massa de amostra úmida

P3 = cápsula + resíduo seco

RS = resíduo seco.

4.4.4 Sanidade do lodo

Para a avaliação da sanidade do lodo foram realizadas coletas para estimar o número de coliformes totais e fecais como também a viabilidade de ovos de helmintos.

Conforme programação inicial as análises seriam realizadas no laboratório da própria empresa. Pelo fato de às amostras serem de lodo, os responsáveis pelos laboratórios de controle de qualidade da empresa não aprovaram a realização das análises. Visando a contenção de gastos, optou-se por realizar análises das amostras dos tratamentos 1 (com duração de 90 dias) e 3 (com duração de 30 dias), portanto, com duração mais longa e mais curta, respectivamente, as quais foram enviadas para

laboratórios terceirizados.

Tratamento 1- Para estimar os coliformes totais e fecais foram realizadas coletas nos dias 0 (zero), 45 (quarenta e cinco) e 90 (noventa) dias.

- Para viabilidade de ovos de helmintos foi realizada coleta no final do experimento com 90 dias de secagem.

Tratamento 3- Para estimar os coliformes totais e fecais foram realizadas coletas nos dias 0 (zero), 15 (quinze) e 30 (trinta) dias.

- Para viabilidade de ovos de helmintos foi também realizada coleta no final do experimento com 30 dias de secagem.

. As amostras para estimar os coliformes foram enviadas ao Laboratório do Instituto de Saneamento da PUC e analisadas conforme metodologia do *STANDARD METHODS* (1998). Tiveram por objetivo estimar o Número Mais Provável de Bactérias por 100g de lodo.

Para estimar a concentração de ovos de helmintos , discriminando o número e a viabilidade dos mesmos, foi realizada a metodologia por diluição, centrifugação e contagem em câmara de Sedwick Rafter e da viabilidade após incubação a 28° C por quatro semanas, conforme descrito por YANKO (1992). Essas análises foram realizadas no laboratório da UFPR/SCB/ Patologia Básica.

4.4.5 Caracterização química

Foram realizadas análises de macronutrientes e de metais pesados nos tratamentos 1 e 3. Foi coletada amostra após o final da secagem do tratamento 1 com 90 dias de secagem, e final do tratamento 3 com 30 dias de secagem.

Como já citado anteriormente a escolha de análises para somente dois experimentos foi visando a contenção de gastos. Optou-se então por realizar análises no tratamento 1 (com mais longa duração) e tratamento 3 (com mais curta duração).

Foram medidos os teores de fósforo, potássio, cálcio, carbono, magnésio,

enxofre e nitrogênio. As amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises Limnológicas e Consultoria Ambiental Ltda e foram analisadas conforme metodologia de análise do Instituto Agronômico de Campinas SP (1986).

Os metais pesados determinados foram: Cd, Cu, Ni, Pb, Zn Hg e Cr. As amostras foram enviadas ao Laboratório do ISAM/PUC e foram analisadas conforme metodologia descrita por KIEHL (1985).

4.4.6 Análise estatística

A correlação entre o teor de sólidos (resíduo seco no lodo) e o tempo em dias para os tratamentos, foi determinada através do coeficiente de determinação linear R^2 obtido através do programa Excel. O programa utilizado para os valores de R^2 baseia-se no ajustamento de curvas utilizando-se o método estatístico dos mínimos quadrados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AVALIAÇÃO DO TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS

Conforme tabela 11, na caracterização do lodo fluído que alimentou o leito de secagem, obtiveram-se valores de sólidos de 29.504 mg/L. O valor de sólidos totais voláteis de 24.926 mg/L representa a matéria orgânica presente no lodo e o valor de 4.583mg/L a fração mineral do lodo. O lodo da Indústria Herbarium laboratório Botânico Ltda é, portanto formada em maior quantidade por matéria orgânica.

TABELA 11- CARACTERIZAÇÃO DO LODO DO TANQUE DE LODO EXCEDENTE

Parâmetro	Valor Obtido mg/L
Sólidos Totais	29.504
Sólidos Totais Fixos	4.583
Sólidos Totais voláteis	24.926

5.2 AVALIAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA SECA NOS TRATAMENTOS

A Tabela 12 demonstra a evolução da secagem do lodo em cada experimento.

Verifica-se que as amostragens iniciais do lodo apresentaram teores de 4% a 6% de sólidos totais sendo, portanto formado por 94% a 96% de água.

A taxa de aplicação de sólidos no leito piloto foi de aproximadamente 6,6KgST.m⁻².ciclo⁻¹, portanto seguiu a recomendação da NBR 570 que deve ser de até 15KgST.m⁻².ciclo⁻¹.

TABELA 12 – TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS NOS TRATAMENTOS 1, 2 E 3

TRATA- MENTO	TEOR DE SÓLIDOS TOTAIS (%)								
1 (%)	6 inicial	10 8 dias	11 13 dias	13,3 24 dias	19 44 dias	20,11 49 dias	27 62 dias	46,5 73 dias	72,2 90 dias
2 (%)	4 inicial	11 12 dias	16,9 23 dias	22 30 dias	38 40 dias	41,3 50 dias			
3 (%)	4 inicial	12,5 15 dias	24,18 22 dias	33,3 30 dias					

Observa-se que, o tratamento 1 demorou mais tempo para chegar a um teor de sólidos totais em torno de 30% como recomendados por JORDÃO e PESSOA (1982).

Nos períodos de precipitações, quando o lodo permaneceu coberto com plástico transparente, podem ser considerados períodos de solarização, onde houve acúmulo de toda a água do leito que não conseguiu evaporar para a atmosfera, aumentando assim o tempo de secagem do lodo. Com 62 dias de permanência no leito o lodo continha 27% de ST, com 73 dias, 46,5% ST e no final do experimento com 90 dias continha 72,2% de sólidos totais.

Durante o desenvolvimento do tratamento 2 ocorreu um período de 20 dias sem chuvas, e no decorrer do tratamento 3 houve temperaturas elevadas sendo, portanto ambos influenciados por redução brusca da umidade do ar como será discutido no item 5.2.

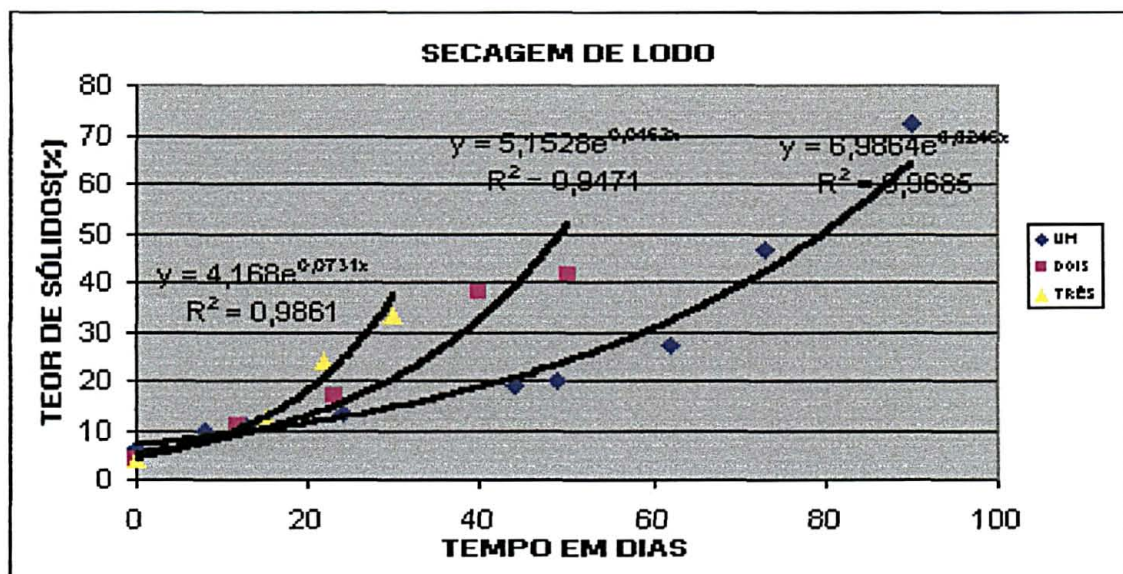
O tratamento 2 com duração de 50 dias atingiu o teor de sólidos de 22% em 30 dias e 38% com 40 dias de exposição no leito de secagem, valores esses compatíveis aos encontrados por LIMA et al., (1998). O tratamento 3 com duração de 30 dias, apresentou 24,18% de sólidos com 22 dias e 33,4% com 30 dia de secagem. Os valores encontrados no tratamento 3 são próximos aos encontrados por ALEM SOBRINHO e MIRANDA (1996) que obtiveram 20% do teor de sólidos, após 16 dias

de secagem e 30% de sólidos em 30 dias de secagem. MENDONÇA e CAMPOS (2000) verificaram um teor de sólidos de 29 a 35% em leitos convencionais, tendo como avaliação um período de 30 dias.

Mesmo com um lodo fluído o leito de secagem piloto modificado por manta de poliéster apresentou resultado satisfatório para o experimento 2 e 3, conforme resultados citados pelos autores acima.

Conforme a Figura 10 o coeficiente de determinação linear (R^2) entre o teor de sólidos(%) e o tempo em dias para o experimento 1 foi de 0,9685.

FIGURA 10 - COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) PARA OS TRATAMENTOS 1, 2 e 3.



Observa-se que no tratamento 2 o coeficiente de determinação linear entre o teor de sólidos(%) e o tempo em dias foi de $R^2=0,947$. Para o tratamento 3 o coeficiente de determinação linear entre o teor de sólidos(%) e o tempo em dias foi de 0,9861. Os valores de R^2 encontrados nos experimentos representam uma boa correlação demonstrando dessa maneira haver pequena dispersão entre os dados. Através dessas curvas pode-se fazer uma estimativa de tempo necessário para atingir 30% de secagem

para as condições de clima avaliadas.

5.3 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS FATORES CLIMÁTICOS NA SECAGEM DO LODO

No processo de secagem natural do lodo, com a utilização de leito de secagem, os fatores climáticos são importantes para a avaliação da eficiência da remoção da umidade.

A Tabela 13 mostra os valores das temperaturas máximas, médias e mínimas e a precipitação média nos meses de junho a setembro de 2001 segundo dados fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).

TABELA 13 – DADOS MÉDIOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO PARA OS MESES DE JUNHO A SETEMBRO DE 2001

MESES	PRECIPITAÇÃO mm	TEMPERATURA ° C		
		Mínima	Média	Máxima
JUNHO	3,55	6,3	13,8	19,4
JULHO	4,97	5,8	13,9	20,4
AGOSTO	2,94	10,0	15,3	20,9
SETEMBRO	2,19	7,6	15,2	21,5

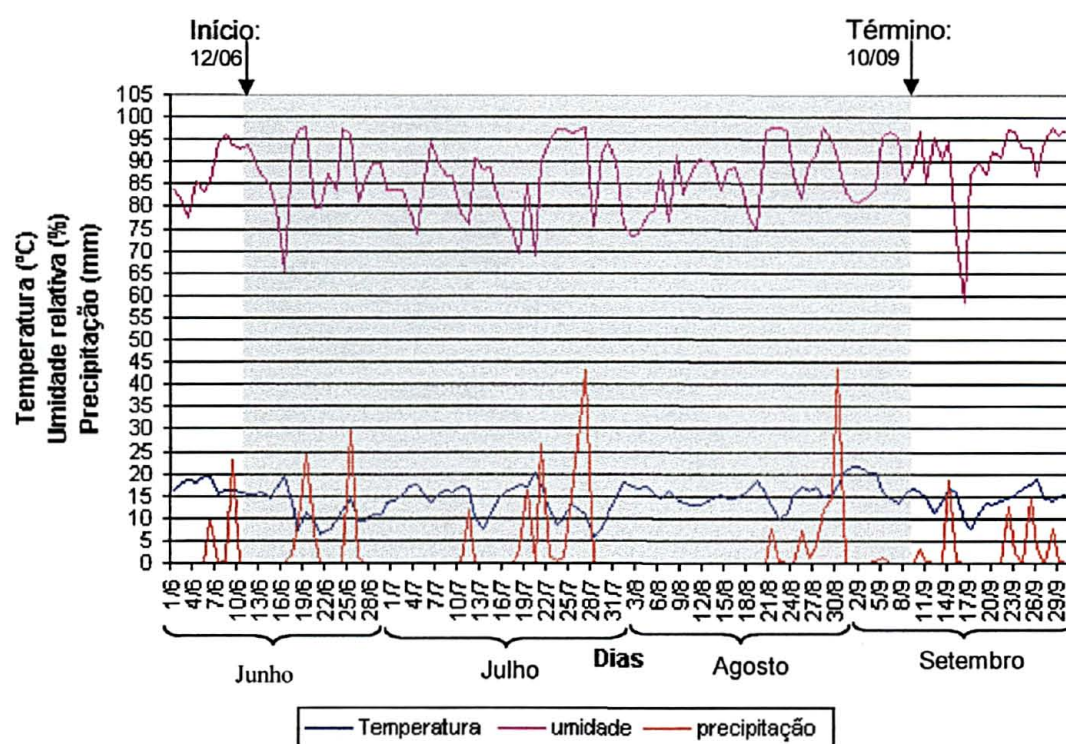
FONTE: SIMEPAR.

O tratamento 1 iniciou em 12/06 e terminou em 10/09 totalizando 90 dias de duração. Durante estes meses os fatores climáticos influenciaram a secagem do lodo no leito.

A Figura 11 apresenta as médias diárias para temperatura, umidade e precipitação para os meses de junho a setembro onde a área hachureada representa o período de duração do tratamento 1.

Nos primeiros 4 dias do tratamento , juntamente com a perda da umidade do lodo , foi observado uma redução da camada de lodo, com uma conseqüente redução do volume.

FIGURA 11-MÉDIAS DIÁRIAS DA TEMPERATURA, UMIDADE E PRECIPITAÇÃO PARA O TRATAMENTO 1.



Isto ocorreu pela perda de água por intermédio da percolação. No 5º dia ocorreu uma redução brusca da umidade relativa do ar de 93% para 65,3%. A partir do 6º dia até o 9º dia do tratamento, no mês de junho, ocorreram 4 dias seguidos com precipitação quando então o leito foi coberto com plástico transparente. Neste período não ocorreu a perda d'água do lodo e sim acúmulo de toda a água presente que não conseguiu evaporar para a atmosfera. Após esse período ocorreram 4 dias sem

precipitação quando então o leito foi exposto a secagem natural com a retirada do plástico transparente. No final do mês ocorreram novamente 2 dias consecutivos de precipitação intensa.

Embora no início do mês de julho não tenha ocorrido precipitação por 10 dias, neste mês ocorreram os maiores valores médios de precipitação do tratamento. Verificou-se que ocorreu um período de 9 dias com precipitação elevada. Também neste mês juntamente com a

precipitação ocorreram elevações da temperatura do ar. No mês de agosto durante 20 dias consecutivos não ocorreu precipitação o que permitiu a ação da secagem natural do lodo. No final deste mês voltou a ocorrer precipitação em 5 dias consecutivos onde o leito de secagem foi novamente coberto.

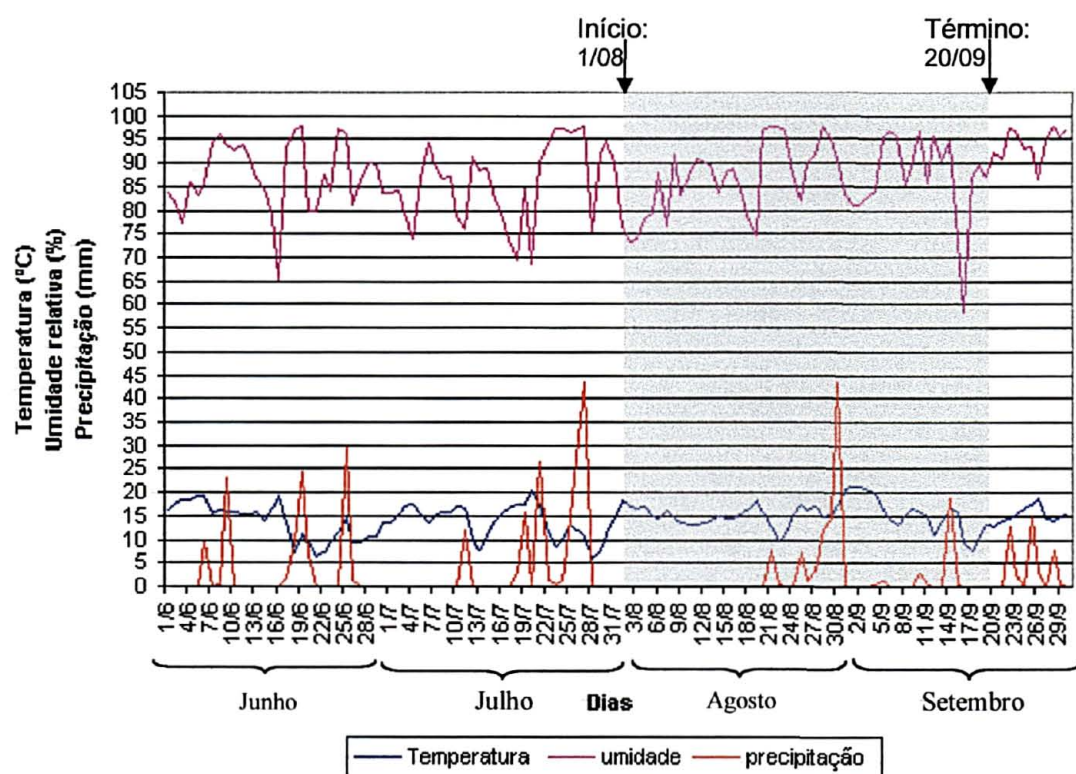
Com relação a umidade relativa média no período do tratamento foi verificado que no mês de junho foi de 87,2%, no mês de julho 85,95%, no mês de agosto de 77,73% e nos primeiros 10 dias do mês de setembro foi de 88,85% quando então terminou o tratamento 1.

No início do mês de setembro, próximo ao término do tratamento ocorreram elevações das temperaturas externas o que facilitou a secagem.

Nos períodos em que o tratamento 1 permaneceu coberto com plástico, embora não tenha ocorrido perda d'água houve aumento da temperatura da massa do lodo, conforme foi observado por (CHERUBINI, 2002). Estes períodos curtos de solarização (20 dias), embora não se tenha monitorado a temperatura, tiveram efeito na higienização do lodo como será discutido no item 5.3.

A Figura 12 apresenta as médias diárias para temperatura, umidade e precipitação para os meses de junho a setembro onde a área hachureada representa o período de duração do experimento 2.

FIGURA 12 -MÉDIAS DIÁRIAS DA TEMPERATURA, UMIDADE E PRECIPITAÇÃO PARA O EXPERIMENTO 2.

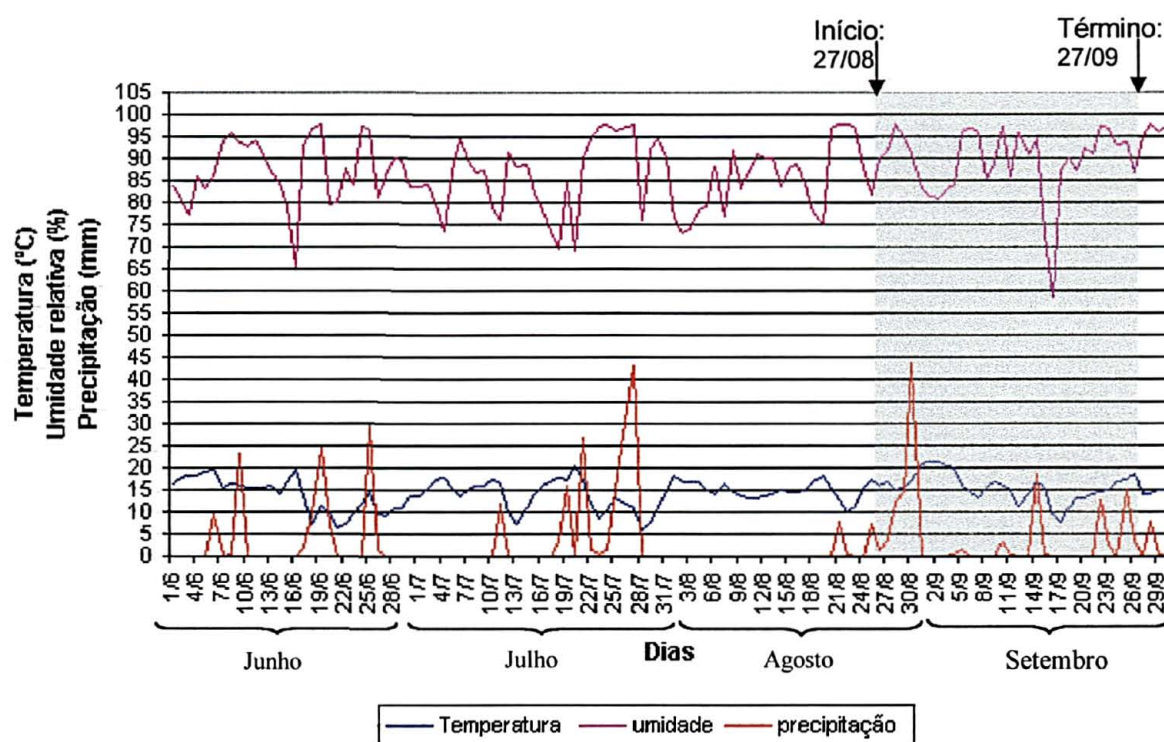


Conforme citado anteriormente no início do mês de agosto houve um período de 20 dias seguidos sem precipitações, o que permitiu a secagem do lodo do experimento 2 com conseqüente redução da umidade durante este período. No final de agosto ocorreram chuvas intensas juntamente com elevações da temperatura. Próximo ao término do experimento no dia 16/09 houve grande redução da umidade que se encontrava em 96% para 58,6%. Esses fatores ambientais permitiram a secagem do lodo no período de duração do experimento 2 (50 dias).

O tratamento 3 iniciou em 27 de agosto e terminou em 27 de setembro totalizando um período de 30 dias. Conforme a Figura 13 neste período de experimento

foram registradas as temperaturas mais elevadas que chegaram a 21,5°C.

FIGURA 13 -MÉDIAS DIÁRIAS DA TEMPERATURA, UMIDADE E PRECIPITAÇÃO PARA O TRATAMENTO 3.



Observa-se que mesmo nos períodos de precipitação que na maioria das vezes eram esparsos havia elevação da temperatura externa. Como já citado anteriormente no dia 16 de setembro houve grande redução da umidade relativa do ar.

Conclui-se que os fatores ambientais favoráveis contribuíram para a secagem do lodo no período determinado para o experimento que foi de 30 dias.

O sistema de secagem do lodo é afetados pelo clima e pela estação do ano, podendo a secagem levar de algumas semanas a alguns meses.

5.4 CONCENTRAÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E FECAIS

Na Tabela 14 podem ser verificadas as concentrações de coliformes totais e fecais obtidas nos tratamentos 1 e 3.

TABELA 14- VALORES DE COLIFORMES TOTAIS E FECAIS NOS EXPERIMENTOS 1 E 3.

COLIFORMES TOTAIS E FECAIS		
Amostra	Coliformes Totais NMP 100 g.PS ⁻¹	Coliformes Fecais NMP 100 g. PS ⁻¹
Experimento 1	2,4x 10 ⁵ 1º coleta (dia 0)	1,3x 10 ⁴ 1º coleta
	200 2º coleta (45 dias)	<200 2º coleta
	3,0 x10 ³ 3º coleta (90 dias)	<200 3º coleta
Experimento 3	3,5x10 ⁴ 1º coleta (dia 0)	300 NMP/ 100 g PS 1º coleta
	9,0x10 ⁴ 2º coleta (15 dias)	1,4x10 ³ 2º coleta
	1,6x10 ⁶ 3º coleta (30 dias)	1,6x10 ⁶ 3º coleta

NMP= NÚMERO MAIS PROVÁVEL

A primeira coleta do tratamento 1 foi realizada no tanque de lodo excedente e apresentou valores de coliformes totais de 2,4x10⁵ NMP 100g⁻¹ PS e coliformes fecais de 1,3x10⁴ NMP 100g.PS⁻¹. A segunda coleta que foi efetuada no leito de secagem piloto e apresentou valores de coliformes totais na faixa de 200 e os coliformes fecais <200 NMP.100 g.Ps⁻¹ (número mais provável por 100g de Peso Seco) .

Verificou-se que o tratamento 1 com períodos curtos de solarização (20 dias), apresentou aos 45 dias uma grande redução do número de coliformes totais sendo que os coliformes fecais não foram detectados ficando portanto abaixo do limite de detecção da análise $<200\text{NMP}100\text{g.PS}^{-1}$. Essa redução do número de coliformes pode ser explicada pelo provável aquecimento da massa de lodo que ocorre durante o período em que o lodo ficou coberto com plástico transparente (solarização). Com a colocação do filme plástico sobre o leito, ocorre aquecimento da massa do lodo pelo efeito estufa gerado, como observado por (CHERUBINI, 2002).

Com 90 dias de secagem, portanto no final do experimento onde a evaporação para a atmosfera já estava ocorrendo normalmente porque o filme plástico havia sido retirado, os coliformes totais reproduziram-se apresentando valores de $3,4 \times 10^4$ NMP.100g. PS⁻¹ o mesmo não ocorrendo com os coliformes fecais que não foram detectados ficando o resultado expresso em <200 NMP100g. PS⁻¹. Segundo a CETESB (1999) os coliformes fecais não se multiplicam com facilidade no ambiente externo e tem sobrevivência similar à das bactérias patogênicas.

Conforme a Instrução Normativa do Instituto Ambiental do Paraná que se baseia nos coliformes fecais para atestar a sanidade bacteriológica, o lodo do experimento 1 apresentou eficiência de higienização.

Conforme a tabela 14 o lodo do tratamento 3 apresentou valores crescentes para os coliformes ficando os valores finais em $1,6 \times 10^6$ NMP 100g PS⁻¹. Os valores encontrados são da mesma ordem de grandeza aos encontrados por FERNANDES et al., (1996) em experimento realizado com lodo doméstico.

Como observado por (CHERUBINI (2002) e FERREIRA (2001) a secagem natural do lodo em leitos não elimina os patógenos sendo portanto necessário realizar a higienização do lodo.

5.5 CONCENTRAÇÃO DE OVOS DE HELMINTOS

Na Tabela 15 pode ser vista a concentração de ovos de helmintos presentes no lodo na amostra inicial coletada no tanque de lodo excedente e no lodo dos leitos de secagem dos experimentos 1 e 3 coletados ao final do experimento.

Na amostra coletada no tanque de lodo excedente foram encontrados 2,38 ovos de *Ascaris sp* por grama de matéria seca e 0,59 ovos de *Trichirus sp* por grama de matéria seca. O total de ovos foi de 2,97 ovos g. MS⁻¹, sendo porém todos inviáveis. Após a secagem do lodo no leito nos dois experimentos somente ovos de *Ascaris sp* foram encontrados, sendo portanto os mais resistentes confirmando o observado por FERREIRA(2001).

O tratamento 1, ao final do tempo de secagem apresentou baixo número de *Ascaris sp* 0,074.g.MS⁻¹ porém todos viáveis. O experimento 3 apresentou um total de 0,42 ovos g. MS⁻¹ sendo 0,21 ovosg.MS⁻¹ (50% viáveis) e 0,21 ovosg.MS⁻¹ (50% inviáveis). Os valores obtidos de ovos de helmintos nos tratamentos ficaram abaixo do limite estabelecido pelo EPA e pela Instrução Normativa do IAP para uso agrícola que é de 0,25 ovos por grama.

TABELA 15 – ESPÉCIES E PORCENTAGENS DE OVOS DE HELMINTOS PRESENTES NAS AMOSTRAS DE LODO.

AMOSTRA	HELMINTOS	OVOS VIÁVEIS g. MS ⁻¹	OVOS INVIÁVEIS g. MS ⁻¹	TOTAL DE OVOS g. MS ⁻¹	% TOTAL DE OVOS VIÁVEIS g. MS ⁻¹
TANQUE DE LODO EXCEDENTE	<u><i>Ascaris sp</i></u>	0	2,38	2,38	0%
	<u><i>Trichiurus sp.</i></u>	0	0,59	0,59	
				Total 2,97	
EXPERIMENTO 1	<u><i>Ascaris sp</i></u>	0,074	0	0,074	100%
EXPERIMENTO 3	<u><i>Ascaris sp</i></u>	0,21	0,21	0,42	50%

5.6 AVALIAÇÃO GERAL DO PERFIL SANITÁRIO DO LODO DA EMPRESA HERBARIUM

Observa-se que o tratamento 1 apresentou valores baixos tanto para coliformes fecais como para os ovos de helmintos. As concentrações de microrganismos encontradas não ultrapassaram o limite estabelecido pelo EPA e a Instrução Normativa do IAP para fins de reciclagem agrícola.

No experimento 3 o valor final de $1,6 \times 10^6$ NMP/100g. PS⁻¹ de coliformes fecais encontrado ultrapassou o limite permitido pelo EPA e a instrução Normativa do IAP.

Embora

o número de ovos viáveis de helmintos não tenha ultrapassado o estabelecido o valor de 0,21 g.MS⁻¹ se aproxima do limite determinado pelo EPA e Instrução Normativa do IAP que é de 0,25 ovos de helmintos por grama de matéria seca.

Conclui-se que o lodo do tratamento 1 com curtos períodos de solarização (20 dias) apresentou eficiência de higienização e que o lodo exposto a secagem natural (tratamento 3) necessita ser higienizado por caleação ou compostagem .

Como já citado anteriormente, segundo a CETESB no estado de São Paulo foi estabelecido somente bactérias como indicadores de patógenos do lodo. No Paraná foi estabelecido além dos coliformes fecais os ovos viáveis de helmintos.

Com base nos resultados obtidos verificou-se que tanto os ovos de helmintos quanto os coliformes fecais apresentaram comportamentos semelhantes frente as condições estudadas nos tratamentos 1 e 3, sendo portanto ambos considerados bons indicadores do grau de sanidade do lodo.

5.7 ANÁLISES QUÍMICAS DO LODO DA HERBARIUM

5.7.1 Matérias Primas Utilizadas

Na fabricação de medicamentos fitoterápicos, pela empresa Herbarium emprega-se várias matérias primas vegetais além de ácidos orgânicos, éteres, ésteres, sílica, glicerina, vaselina, tensoativos perolados, enxofre sublimado, agar-ágar que entram na composição dos medicamentos (RELATÓRIO TÉCNICO UFPR-2001).

Os resíduos destas matérias primas utilizadas são destinados à Estação de Tratamento de Efluentes e conseqüentemente apresentam-se incorporadas ao lodo gerado.

A Tabela 16 apresenta as porcentagens de nutrientes encontrados no lodo coletado nos experimentos 1 e 3.

TABELA 16- RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS DO LODO NO EXPERIMENTO 1 E 3.

Amostra	Cálcio	Carbono total	Fósforo total	Enxofre	Magnésio	Mat.orgânica	Nitrogênio total	potássio	pH
Experimento 1	0,05%	2,39%	0,41%	0,20%	0,05%	4,12%	0,28%	0,05%	9,23
Experimento 3	0,09%	4,72%	0,75%	0,26%	0,10%	8,13%	0,55%	0,06%	5,99

Observa-se que as concentrações de carbono variam de 2,39 a 4,72 as de nitrogênio variam de 0,28 a 0,55%, as concentrações de fósforo de 0,41 a 0,75%. Os teores, principalmente de nitrogênio e de fósforo, são menores que os encontrados em lodos provenientes de estações de tratamento de esgoto. O tipo de matéria prima empregada pela empresa, constituída principalmente de restos de vegetais desidratados e a pequena contribuição do esgoto no efluente gerado, podem explicar esses baixos teores.

As variações apresentadas entre os experimentos podem estar associada a diferença de composição do efluente que chega na estação o que pode ser verificado pelo pH que no tratamento 1 apresentou valor de 9,23 e no tratamento 3 o valor de 5,99. Segundo RELATÓRIO TÉCNICO-UFPR (2001), os resíduos oriundos dos laboratórios de análises físico-químicas e bacteriológicas são armazenados em bombonas plásticas e quando cheias são vertidos gradativamente na estação. Em tais resíduos de composições diversificadas encontramos além dos nutrientes, alguns metais pesados.

O tempo de permanência do lodo no tanque de aeração (idade do lodo) pode também alterar a quantidade de nutrientes. A idade do lodo para sistema de Lodos

Ativados por aeração prolongada varia de 20 a 30 dias (JORDÃO e PESSOA, 1982.) A empresa Herbarium trabalha com idade do lodo de 45 dias. Portanto, maiores períodos de residências no tanque de aeração, resultam em lodos mais estabilizados e com teores menores de C,N,P e K os quais são consumidos por bactérias presentes no sistema.

Modificações de operação na estação fora do previsto em projeto, como diminuição ou aumento do tempo de residência do efluente em tanques do processo, alteração no tempo de aeração do tanque de aeração, etc, influem diretamente na qualidade química do lodo gerado. Como já citado anteriormente quando foi iniciado os tratamentos o processo físico-químico da estação (coagulação e floculação) estava inoperante, fato esse que altera a eficiência da estação no geral.

Embora os valores dos macronutrientes encontrados no lodo da empresa Herbarium sejam menores aos encontrados em lodo oriundos de esgoto doméstico conforme TSUTIYA (2001), não existem critérios normativos que estabeleçam limites ou restrições quanto aos níveis de nutrientes e dos parâmetros que determinam o valor agrônômico do lodo. No entanto, estes elementos são fundamentais para a definição das taxas de aplicação do resíduo ao solo e como indicadores da dosagem de cal empregada para o processo de higienização.

5.7.2 Teor de metais pesados

O teor de metais pesados encontrados no lodo gerado nos tratamentos 1 e 3, pode ser visto na Tabela 17.

TABELA 17- TEOR DE METAIS PESADOS ENCONTRADO NO LODO DO EXPERIMENTO 1 E 3 E VALOR LIMITE PARA USO AGRÍCOLA.

Amostra	Hg µg/Kg	Cd mg/Kg	Cr mg/Kg	Cu mg/Kg	Ni mg/Kg	Pb mg/Kg	Zn mg/Kg
Experimento 1	3,0	11,2	39,2	113,1	28,2	133,3	677,4
Experimento 3	1,6	2,2	47,3	183,8	32,4	71,0	898,9
Valor limite do IAP em mg/kg	16	20	1000	1000	300	750	2500

Os laboratórios de análises físico-químicas e bacteriológicas da empresa utilizam reagentes químicos como ácido cromotrópico, acetato de chumbo, mercúrio, nitrato de chumbo, nitrato de prata, azul de bromotimol, bromo, preto de eriocromo, sulfato de cobre II, zinco em pó, entre outros que possuem metais pesados em suas constituições. Os resíduos desses elementos são destinados a estação de tratamento de efluentes e, portanto incorporados ao lodo gerado.

Mesmo com o descarte de reagentes químicos no efluente os teores de metais pesados encontrados não excedem o estabelecido pela Instrução Normativa do IAP que estabelece valores para uso agrícola.

5.8 IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE LEITO DE SECAGEM EM ESCALA REAL PELA HERBARIUM

Com base nos resultados obtidos neste experimento piloto de leito de secagem, a Herbarium Laboratório Botânico Ltda implantou um sistema de secagem modificado com manta de poliéster em escala real para desaguar o lodo gerado em seu processo industrial.

Conforme informações da empresa o leito de secagem encontra-se funcionando a contento, sendo que em termos de volume do lodo houve uma redução de aproximadamente 68%, pois inicialmente era tratado 5 a 10m³ de biomassa líquida(lodo fluído)e atualmente está sendo tratado apenas 1,6 a 3,2m³ de biomassa seca (lodo desidratado). Com a redução de 68% de lodo após secagem no leito implantado, a Herbarium está higienizando o lodo através do processo de compostagem, realizado na própria empresa, para redução de patógenos.

6 CONCLUSÕES

O sistema de leito de secagem modificado com manta de poliéster para reter os sólidos é uma alternativa viável, e que permite desaguar o lodo fluído aeróbio com obtenção de 30% de sólidos no período de 30 a 40 dias de exposição, dependendo das condições climáticas das diferentes épocas dos tratamentos.

A utilização de plástico transparente sobre o leito de secagem em períodos de precipitações aumenta o tempo de secagem do lodo, pois dificulta a saída do vapor d'água para a atmosfera, determinando baixo desempenho do sistema.

Lodo com carga de $6,6\text{Kg.ST.m}^{-2}\text{.ciclo}^{-1}$ apresenta eficiência de higienização em leitos de secagem com curtos períodos de solarização.

A secagem natural do lodo em leito não elimina os patógenos, sendo, portanto necessário realiza sua higienização do lodo que pode ser por caleação ou compostagem.

Com relação aos macronutrientes verifica-se que o lodo industrial da empresa apresenta baixos teores comparativamente ao lodo de esgoto doméstico.

Os teores de metais pesados não ultrapassam os valores limite estabelecidos pela Instrução Normativa do IAP.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**. Rio de Janeiro, 1987. 63p.

_____. - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NB 570 :Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro, 1990.

AISSE, M. M ; FERNANDES F. e SILVA, S. M. C. da . Aspectos tecnológicos e de processos. IN: ANDREOLI, C.; LARA, A. I. de e FERNANDES, F. (Org.) In: **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999, p.49-119.

AISSE, M. M. e ANDREOLI, F. N. de. **Estudo da desidratação do lodo anaeróbio, obtido em reatores tipo RALF, através do uso de leito de secagem e de centrífuga tipo decanter..** [s.l.]: Sanare, v.11 n.11, 1999 (p 37-43).

ALÉM SOBRINHO, P. e MIRANDA, S. E. M. **Desidratação de lodos de reator Uasb em leito de secagem- determinação de parâmetros**. In: XXV CONGRESSO AIDIS, México, 1996.

ANDRAUS, S.; MEDEIROS, M. L. B. de .; BORGES, J.C.; SILVA, S. M. C. da.; TOLEDO, E. B. S. Agentes patogênicos- bactérias entéricas. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I. de; FERNANDES, F. (org.). In: **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: SANEPAR/FINEP, 1999, p. 49-119.

ANDREOLI, C. V. et al. Proposição de plano de monitoramento da reciclagem agrícola do lodo de esgoto no estado do Paraná. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL- 19º - 1997-** Foz do Iguaçu.

GONÇALVES, R. F., LUDUVICE, M.; SPERLING M. V.. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná; v.6, 2001, p. 159-258.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. e FERNANDES, F. Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V. e FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná.; v.6, 2001. p. 319-397

BRAILE, P. M e CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 18ª. ed., São Paulo: CETESB, 1979. 764p.

BUNDGAARD, E. e SAABYE, A. *State of the art on sewage sludge: environmental aspects and regulations of common sludge disposal methods*. In: International Exhibition Congress of Solid Waste (1992; Madrid). Annals. Madrid: ISWA, 1992.

CETESB. **Aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: Critérios para projeto e operação**. Norma Outubro /1998. 423p.

CETESB. **Técnica dos tubos múltiplos**. São Paulo, 1999. 130p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ-SANEPAR. **Manual Técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná.** Curitiba, 1997.

CHERUBINI, C. **Secagem e Higienização do Lodo de Esgoto Anaeróbico em Leitos de Secagem Através da Solarização.** Dissertação (Mestrado), Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná. 133p., Curitiba, Pr.2002.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR. Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V.; BONNET, B.R.P. (ORGS) Sanepar: Prosab, 2ª ed., 2000, 86p.

DIAS, M. C. de O.; PEREIRA, M. C. B.; DIAS, P. L. F. e VIRGÍLIO, J. F. **Manual de impactos ambientais.** Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999. 297p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE OF CANADA - EPS. *Environmental CANADA. Manual for application of treated municipal wastewater and sludge.* Ontario: EPS, 1984-216p. (6-EP-84-1).

FALK, C. C. et al. *Bench scale experiments for the evaluation of a membrane methods for the recovery efficiency of grandia and cryptosporidium from water.* Water Research, v.32, n:3, p. 565-568. 1998.

FERNANDES, F. et al. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. **SANARE**, v.5, n.5, p.46-58; 1996.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. e LARA, A. I. Riscos Associados ao uso do lodo de esgotos. In: **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura.** Rio de Janeiro, PROSAB. p. 29-33, 1999.

FERREIRA, A. C. **Monitoramento da secagem e desinfecção de lodo anaeróbico em leito de secagem com uso de estufa plástica e biogás.** Dissertação (Mestrado), Departamento de solos do setor de ciências agrárias. Universida Federal do Paraná. 97p., Curitiba, Pr.2001.

GAMBALE, W.; PAULA, C. R.; CORREA, B. et al. **Avaliação da Microbiota fúngica em lodo digerido submetido a tratamento químico e térmico.** Ver. Microbiologia, São Paulo: v.18, t4, p.363-365. 1987.

GONÇALVES, R. F. e LUDOVICE, M. Alternativas de minimização da produção e desaguamento de lodo de esgoto. In: **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** BETTIOL, W. e CAMARGO, O. A (ORGS.) Campinas, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p.25-44.

GUILHERME, M. S.; FILHO, B. C.; NOUR, A. A. Modificação do método de sulfato de zinco para recuperação de (oo) cistos de protozoários patogênicos no lodo de esgoto: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 19º - 1997. Foz do Iguaçu. **Anais.** Paraná, 1997.

GÜNTER, W. M. R. et al. In: SEMINÁRIO CIÊNCIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 1997, jul, 2-4, São Paulo, Brasil. **Anais...** . São Paulo; 1997. p190-3.

HAYS, B. D. *Review Paper: Potential for parasitic disease transmission with land application of sewage plant effluents and sludges.* Water Reserch Great Britain, v.1., 1997, p. 583-595.

IAPAR - INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ. CARTAS CLIMÁTICAS BÁSICAS DO ESTADO DO PARANÁ. Londrina/ Pr, 41p. 1978.

ILHENFELD, R. G. K.; PEGORINI, E. S. e ANDREOLI, C. V. **Fatores limitantes**. In: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Rio de Janeiro: PROSAB, FINEP, 1999.

IMHOFF, K. R. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: E. Blücher, 1976.

JORDÃO, E. P. e PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 2ª ed., Rio de Janeiro: ABES, 1982. 536p.

JOST, P. T. de. **Tratamento de efluentes de curtumes**. Rio de Janeiro: CNI, Departamento de Assistência à Média e Pequena Indústria, 1989. 185p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985.

LIMA, M. R. P.; MÜLLER, P. S. G. e GONÇALVES, R. F. **Desidratação de lodo de lagoas anaeróbias de estabilização em leitos de secagem na região sudoeste do Brasil**. [s.ed.], [s.l.], [s.a.].

LOEHR, R. C. *Environmental impacts of sludge disposal*. In: BARCHARDT, J. A.; REDMAN, W. J.; JONES, G. E. et al. *Sludge and its ultimate disposal*. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1981. p. 179-197.

XXVI CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, Lima- Peru, 1998.

MARTINS, M. T.; SANCHEZ, P. S. e MARQUES, E. **Eficácia do tratamento químico e térmico na destruição de patógenos em lodo digerido**. São Paulo, v. 17, 1986. p. 148-154.

MENDES, J. T. G. **Departamento de parâmetros operacionais para ETEs e pesquisa quanto à disposição do lodo excedente: análise econômica do lodo da ETE Curitiba**. Curitiba: SUREHMA/ FINEP, 1981. 43p. (Relatório, 9).

MENDONÇA, L. C. e CAMPOS, J. R. Comparação do desempenho de 3 concepções de leitos de secagem na desidratação de lodo de reator UASB. IN: IX SILUBESA. Simpósio Luso-Brasileiro de Engª Sanitária e Ambiental. *Anais...* p. 742-747. Porto Seguro/BA. 2000.

METCALF, B. e EDDY, I.N.C. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 3ª ed. Cap. 11, p. 628-762, New York: Mc Graw- Hill, Estados Unidos, 1985.

ONU - Conferência das Nações Unidas Sobre o meio Ambiente e desenvolvimento: Agenda 21. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. 472p.

OUTWATER, A. B. *Reuse of sludge and minor wastewater residuals*. S. 1.: Lewi Pblishers. 179 p, 1994.

Relatório Técnico- Estudo de caso: indústrias Herbarium Laboratório Botânico Ltda. Curitiba: UFPR, 2001. 71p.

RAIJ, B. VAN. Uso Agrícola de Biossólidos. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL, (1.:1998:Curitiba). *Anais...* Curitiba: [s.n.], 1998. p.147-151.

REIFF, F. M. *Importance of environmental health measures in the prevention and control of taeniasis and cysticercosis*. 1994. 12p.

ROBINSON, J. e KNOCKE, W. R. *Use of dilatometric and drying techniques for assessing sludge dewatering characteristics*. *Water environment research*, v. 64, no 1, p. 60-68, 1992.

SILVA, M.L.; RIBEIRO, J.A. Avaliação de Diversas Estratégias no Controle de Infestantes.U.T..A.D.Portugal(Vila Real). Disponível em <http://www.utad.pt/~apea/comunicacoes.html#e>. Arquivo acessado em 2003.

SMOLLEN, M. *Moisture retention characteristics and volume reduction of municipal sludge*. *water as*. V. 14, no1, p.25-28, 1988.

SPELLMAN, F. R. *Dewatering biossolids*. Technomic Publishing C O, Lancaster/ USA- 1997. 276p.

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2 ed. IN: **Princípios de tratamento biológico de águas residuárias**. Vol 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 243 p. 1996.

SPERLING, M. V. e GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V. e FERNANDES, F. **Lodo de esgoto:tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, p.17-67, 2001.

Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater - APHA. 19ª Ed., American Public Helath Association, Washington, D.C., 1998.

THOMAZ-SOCCOL, V. Aspectos sanitários do lodo de esgoto. In: I SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIODSÓLIDOS DO MERCOSUL. **Anais...** Curitiba/Pr p.65-72, 1998.

THOMAZ-SOCCOL, V. Aspectos: helmintos e protozoários. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A.J.; FERNANDES,F. (ORGS). **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar: Finep, 1999.

TSUTIIYA, M. T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL-ABES**, 1999, P. 753-761.

TSUTIIYA, M. T. et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.

TSUTIIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p.104.

USEPA - United States Environmental Protection Agency-- Health effects of land application of municipal sludge. Research and Development. Cincinnati: USEPA/600/1-85/015, 1985. 78p.

USEPA - *United States Environmental Protection Agency-Sludge Treatment And Disposal*. Cincinnati: EPA, v.1 e 2. 1979.

VAN HANDEL, A. C. e LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos : um manual para regiões de clima quente.** [s..],[s.ed.], 1994.

VESILIND, P. A. *The role of water in sludge dewatering.* **Water Environment** Research, v.66, p.04-11, 1994.

YANKO, W. A. *Ocurrence of pathogens in distribution and marketing municipal sludge.* IN: *Environmental regulation and technology: control of pathogens and vector attraction in sewage sludge.* Raspport U.S. EPA 625/R-92/013,149. Washrington: EPA, 1992.

WEBBER, M. D . e SHAMESS, A. *Land utilization of sewage sludge: a discussion paper.* Toronto: Expert Committe on Soil and Water Management, 1984. 48p.

WALLACE, A. e WALLACE, G. A. *A possible flaw.* In EPA'S 1993. *New sludge rule due to heavy metal interaction.* Commun. Soil Sci Plant Anal, 25 (1&2), New York,p. 129-135(1994).

ANEXOS

Sistema Meteorológico do Paraná

Estação: 25254905 Pinhais (Simepar)

Dia	2001								
	Temperatura Média (graus C)			Umidade Relativa Média (%)			Precipitação Diária (mm)		
	Jun	Jul	Ago	Jun	Jul	Ago	Jun	Jul	Ago
1	16,2	13,8	18,2	83,7	83,8	76,2	0,0	0,0	0,2
2	17,9	15,5	17,0	81,0	83,9	73,4	0,0	0,0	0,0
3	18,3	17,2	16,7	77,3	79,6	74,0	0,0	0,0	0,0
4	18,2	17,6	16,9	85,7	73,8	78,0	0,0	0,0	0,0
5	19,3	15,3	15,1	83,4	86,6	79,2	0,0	0,0	0,0
6	19,4	13,7	14,3	85,8	94,5	88,1	9,4	0,0	0,0
7	15,4	15,1	16,3	94,3	89,7	76,7	0,2	0,0	0,0
8	16,3	16,0	14,6	96,0	86,8	91,6	0,6	0,0	0,0
9	16,0	15,8	13,7	93,8	87,1	83,1	23,0	0,0	0,0
10	15,6	17,1	13,1	92,8	78,5	87,2	0,0	0,0	0,0
11	15,4	16,5	13,1	93,9	76,1	90,8	0,0	11,8	0,0
12	15,5	10,1	13,6	90,8	91,2	90,0	0,2	0,2	0,0
13	15,7	7,5	14,2	86,8	88,2	89,8	0,0	0,0	0,0
14	14,3	11,0	15,1	84,7	88,6	83,6	0,0	0,0	0,2
15	16,7	13,9	14,6	79,1	82,4	87,8	0,0	0,0	0,0
16	19,4	15,7	14,4	65,3	78,0	88,8	0,2	0,0	0,2
17	13,7	16,8	15,2	93,1	73,8	83,9	1,6	0,0	0,0
18	7,3	17,7	16,6	96,7	69,5	77,6	9,4	3,2	0,0
19	11,2	17,3	18,3	97,8	84,5	74,9	24,4	16,0	0,0
20	9,6	20,4	15,6	79,7	68,9	96,7	6,6	0,0	0,0
21	6,3	17,4	12,9	79,8	90,1	97,6	0,0	26,6	7,8
22	7,3	11,7	10,0	87,6	94,5	97,6	0,0	1,4	0,6
23	9,4	8,6	11,3	84,0	97,3	96,9	0,0	0,4	0,0
24	11,6	10,3	15,3	97,3	97,5	87,6	0,0	1,2	0,0
25	14,6	13,1	17,3	96,2	96,5	82,0	29,6	15,0	7,4
26	9,6	16,4	16,1	81,1	93,1	90,0	1,4	35,0	1,2
27	9,3	10,8	16,9	86,1	97,8	91,6	0,0	43,4	3,6
28	10,7	5,8	15,0	89,9	75,7	97,6	0,0	0,0	12,2
29	10,7	7,7	15,5	89,7	92,1	95,0	0,0	0,0	14,4
30	13,6	11,0	17,4	83,6	94,6	90,9	0,0	0,0	43,6
31		14,9	20,9		90,0	83,4		0,0	0,0



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE PATOLOGIA BÁSICA - LABORATÓRIO DE PARASITOLOGIA MOLECULAR

CERTIFICADO DE ANÁLISE NO. 722

PRODUTO: Lodo adensado
PRODUTOR : Herbarium
SOLICITANTE: Kalluf
ENDEREÇO: Av Santos Dumont, 1111
FAX: 621 12 13
CEP :
PROTOCOLO DE RECEPÇÃO No. 02/08/01
Amostra No. 722

RESULTADOS

PARAMETROS PARASITOLÓGICOS:

Pesquisa e estudo de viabilidade de ovos de helmintos:

HELMINTO	MÉDIA		TOTAL GERAL
	viáveis	inviáveis	
<i>Ascaris sp.</i>		2,38	
<i>Trichuris sp.</i>		0,59	
<i>Toxocara sp.</i>		0	
<i>Hymenolepis diminuta</i>		0	
TOTAL		2,97	2,97
% viabilidade		0	
Observação	Presença de ovos de ácaros 1.345,24. Porém, todos inviáveis		

Número total Ovos de Helmintos = 2,97 ovos de helmintos por grama de matéria seca.

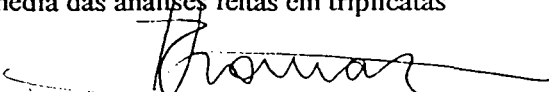
Número de ovos viáveis = 0 ovos por grama de matéria seca.

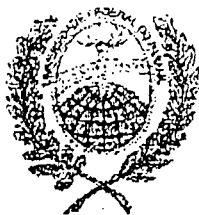
Percentual de Viabilidade = 0 %.

Metodologia : Thomaz Soccol V., Castro EA., Paulino R.IN: SANEPAR, Manual de métodos para análises Parasitológicas em reciclagem de lodo, Curitiba, 2000, p. 27-41.

O resultado representa a média das análises feitas em triplicatas

Curitiba, 12/09/2001


Vanete Thomaz Soccol—PhD
Responsável do Laboratório



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE PATOLOGIA BÁSICA - LABORATÓRIO DE PARASITOLOGIA MOLECULAR

CERTIFICADO DE ANÁLISE NO. 751

PRODUTO: Lodo adensado ~~em refrigerante~~ ~~em amostra~~ T1 c/ 61 DIAS DE SECAGEM.
PRODUTOR : Herbarium
SOLICITANTE: Kalluf
ENDEREÇO: Av Santos Dumont, 1111
FAX: 621 12 13
CEP :
PROTOCOLO DE RECEPÇÃO No. 27/08/01
Amostra No. 751

RESULTADOS

PARAMETROS PARASITOLÓGICOS:

Pesquisa e estudo de viabilidade de ovos de helmintos:

HELMINTO	MÉDIA		TOTAL GERAL
	viáveis	inviáveis	
<i>Ascaris sp.</i>	0,074		
<i>Trichuris sp.</i>			
<i>Toxocara sp.</i>			
<i>Hymenolepis diminuta</i>			
TOTAL	0,074		0,074
% viabilidade			100%
Observação	Presença de ovos de ácaros 21,46. Porém, todos inviáveis		

Número total Ovos de Helmintos = 0,074 ovos de helmintos por grama de matéria seca.

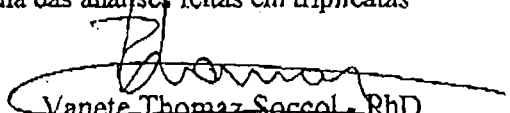
Número de ovos viáveis = 0,074 ovos por grama de matéria seca.

Percentual de Viabilidade = 100 %.

Metodologia : Thomaz Soccol V., Castro EA., Paulino R.IN: SANEPAR, Manual de métodos para análises Parasitológicas em reciclagem de lodo, Curitiba, 2000, p. 27-41.

O resultado representa a média das análises feitas em triplicatas

Curitiba, 17/10/2001


Vanete Thomaz Soccol - RnD
Responsável do Laboratório



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - SETOR DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE PATOLOGIA BÁSICA - LABORATÓRIO DE PARASITOLOGIA MOLECULAR

CERTIFICADO DE ANÁLISE NO. 766

PRODUTO: Biomassa T3 após leito de secagem com 29 dias

PRODUTOR : Herbarium

SOLICITANTE: Kalluf

ENDEREÇO: Av Santos Dumont, 1111

FAX: 621 12 13

CEP :

PROTOCOLO DE RECEPÇÃO No. 27/09/01

Amostra No. 766

RESULTADOS

PARAMETROS PARASITOLÓGICOS:

Pesquisa e estudo de viabilidade de ovos de helmintos:

HELMINTO	MÉDIA		TOTAL GERAL
	viáveis	inviáveis	
<i>Ascaris sp.</i>	0,21	0,21	
<i>Trichuris sp.</i>			
<i>Toxocara sp.</i>			
<i>Hymenolepis diminuta</i>			
TOTAL	0,21	0,21	0,42
% viabilidade			50%
Observação	Presença de ovos de ácaros 60,33 com 0,84 de ovos viáveis		

Número total Ovos de Helmintos = 0,42 ovos de helmintos por grama de matéria seca.

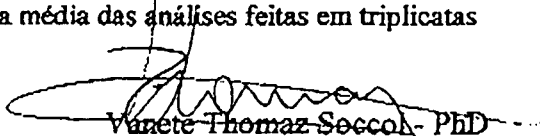
Número de ovos viáveis = 0,21 ovos por grama de matéria seca.

Percentual de Viabilidade = 50%

Metodologia : Thomaz Soccol V., Castro EA., Paulino R. IN: SANEPAR, Manual de métodos para análises Parasitológicas em reciclagem de lodo, Curitiba, 2000, p. 27-41.

O resultado representa a média das análises feitas em triplicatas

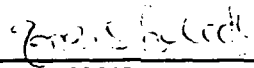
Curitiba, 30/10/2001


Vanete Thomaz Soccol - PhD
Responsável do Laboratório



LABORATÓRIO DE ANÁLISES AMBIENTAIS			
Solicitante:: Herbarium Lab. Botânico Ltda.		OS: 278/01	
Local de Coleta: Av. Santos Dumont, 1111 Roça Grande Colombo Paraná		Data: 31/07/2001	Hora: 11:00
Aspecto: efluente (amostra liquida)		Cheiro: FRACO	
Observações: Amostra coletada por Janiliete Chernim Borges			
RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO - QUÍMICA			
Sólidos Totais	29.504	mg/L	
Sólidos totais fixos	4.583	mg/L	
Sólidos totais voláteis	24.926	mg/L	
RESULTADOS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS			
Coliformes Totais	$2,4 \cdot 10^5$	NMP/100mL	
Coliformes Fecais	$1,3 \cdot 10^4$	NMP/100mL	
Metodologia Standard Methods for the examination of water and wastewater 20 Edition 1998. Observações: <ul style="list-style-type: none">• A presente análise tem seu valor restrito somente a amostra entregue no Instituto.• O presente documento é emitido em 1º via respondendo o Instituto apenas pela veracidade desta via.			

Curitiba, 20 Agosto de 2.001


COORD. LAB. AMBIENTAIS
Edna B. S. Toledo
CRQ 092 00837



LABORATÓRIO DE ANÁLISES AMBIENTAIS

Solicitante::	Herbarium Lab. Botânico Ltda.	OS:323/01	
Local de Coleta:	Av. Santos Dumont, 1111 Roça Grande Colombo Paraná	Data:24/08/2001	Hora: 11:00
Aspecto:	Leito de secagem 70 dias	Cheiro: FRACO	
Observações:	Amostra coletada por Janiliete Chemim Borges		

RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO - QUÍMICA

Matéria Seca	46,5	%
Umidade	53,5	%

RESULTADOS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Coliformes Totais	$3,0 \cdot 10^3$	NMP100g/PS
Coliformes Fecais	< 200	NMP100g/PS

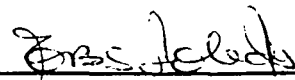
Metodologia

Standard Methods for the examination of water and wastewater 20 Edition 1998.

Observações:

- A presente análise tem seu valor restrito somente a amostra entregue no Instituto.
- O presente documento é emitido em 1º via respondendo o Instituto apenas pela veracidade desta via.

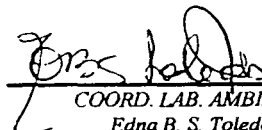
Curitiba, 20 Setembro de 2.001


COORD. LAB. AMBIENTAIS
Edna B. S. Toledo
CRQ 09200837



LABORATÓRIO DE ANÁLISES AMBIENTAIS			
Solicitante::	Herbarium Lab. Botânico Ltda.	OS: 323/01	
Local de Coleta:	Av. Santos Dumont, 1111 Roça Grande Colombo Paraná	Data: 24/08/2001	Hora: 11:00
Aspecto:	Leito de secagem 20 dias Amostra 2	Cheiro: FRACO	
Observações:	Amostra coletada por Janiliete Chemim Borges		
RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO - QUÍMICA			
Matéria Seca	16,9	%	
Umidade	83,1	%	
RESULTADOS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS			
Coliformes Totais	2,8.10 ⁴	NMP100g/PS	
Coliformes Fecais	< 200	NMP100g/PS	
Metodologia Fertilizantes Orgânicos, Edmar José Riehl. Editora Agronômica "Ceres" Ltda, SP 1985			
Observações: <ul style="list-style-type: none">A presente análise tem seu valor restrito somente a amostra entregue no Instituto.O presente documento é emitido em 1º via respondendo o Instituto apenas pela veracidade desta via.			


Curitiba, 20 Setembro de 2.001


COORD. LAB. AMBIENTAIS
Edna B. S. Toledo
CRQ 09200837



LABORATÓRIO DE ANÁLISES AMBIENTAIS		
Solicitante::	Herbarium Lab. Botânico Ltda.	OS:334/01
Local de Coleta:	Av. Santos Dumont, 1111 Roça Grande Colombo Paraná	Data:12/09/2001 Hora:
Aspecto:	Leito de secagem 15 dias	Cheiro: FRACO
Observações:	Amostra coletada por Janiliete Chernim Borges	
RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO - QUÍMICA		
Matéria Seca	12,5	%
Umidade	87,5	%
RESULTADOS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS		
Coliformes Totais	$3,5.10^4$	NMP100g/PS
Coliformes Fecais	700	NMP100g/PS
Metodologia Fertilizantes Orgânicos, Edmar José Riehl. Editora Agronômica "Ceres" Ltda, SP 1985. Observações: <ul style="list-style-type: none">A presente análise tem seu valor restrito somente a amostra entregue no Instituto.O presente documento é emitido em 1º via respondendo o Instituto apenas pela veracidade desta via.		

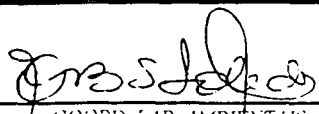
Curitiba, 27 Setembro de 2.001


COORD. LAB. AMBIENTAIS
Edna B. S. Toledo
CRQ 09200837



LABORATÓRIO DE ANÁLISES AMBIENTAIS			
Solicitante:: Herbarium Lab. Botânico Ltda.		OS: 343/01	
Local de Coleta: Av. Santos Dumont, 1111 Roça Grande Colombo Paraná		Data: 19/09/2001	Hora: 11:00
Aspecto: Leito de secagem 20 dias		Cheiro: FRACO	
Observações: Amostra coletada por Janiliete Chemim Borges			
RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO - QUÍMICA			
Umidade	75,82	%	
Matéria Seca	24,18	%	
RESULTADOS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS			
Coliformes Totais	$9,0 \cdot 10^4$	NMP100g/PS	
Coliformes Fecais	$1.4 \cdot 10^3$	NMP100g/PS	
Metodologia Fertilizantes Orgânicos, Edmar José Riehl. Editora Agronômica "Ceres" Ltda, SP 1985. Observações: <ul style="list-style-type: none">A presente análise tem seu valor restrito somente a amostra entregue no Instituto.O presente documento é emitido em 1º via respondendo o Instituto apenas pela veracidade desta via.			

Curitiba, 27 Setembro de 2.001


COORD. LAB. AMBIENTAIS
Edna B. S. Toledo
CRQ 09200837



LABORATÓRIO DE ANÁLISES AMBIENTAIS

Solicitante::	Herbarium Lab. Botânico Ltda.	OS:353/01	
Local de Coleta:	Av. Santos Dumont, 1111 Roça Grande Colombo Paraná	Data:27/09/2001	Hora: 11:00
Aspecto: Leito de secagem 29 dias teste 03	Cheiro: FRACO		
Observações:	Amostra coletada por Janiliete Chemim Borges		

RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO - QUÍMICA

Umidade	67,30	%
Matéria Seca	33,4	%
Sólidos fixos	29,6	%

RESULTADOS DE ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

Coliformes Totais	$1,6 \cdot 10^6$	NMP100g/PS
Coliformes Fecais	$1,6 \cdot 10^6$	NMP100g/PS

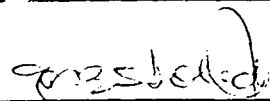
Metodologia

Fertilizantes Orgânicos, Edmar José Riehl. Editora Agronômica "Ceres" Ltda, SP 1985.

Observações:

- A presente análise tem seu valor restrito somente a amostra entregue no Instituto.
- O presente documento é emitido em 1º via respondendo o Instituto pelas veracidade desta via.

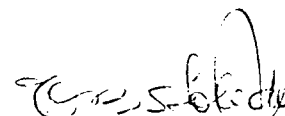
Curitiba, 26 de Outubro de 2001

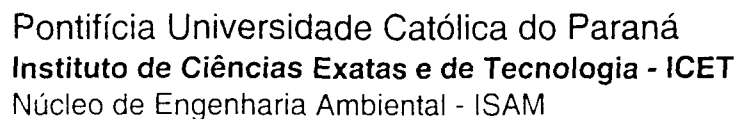

COORD. LAB. AMBIENTAIS
Edna B. S. Toledo
CRQ 09200837



LABORATÓRIO DE ANÁLISES AMBIENTAIS			
Solicitante::	Herbarium Lab. Botânico Ltda.	OS:353/01	
Local de Coleta:	Av. Santos Dumont, 1111 Roça Grande Colombo Paraná	Data:27/09/2001	Hora:
Aspecto:	Cheiro: FRACO		
Observações:	Amostra coletada por Janiliete Chemim Borges		
RESULTADOS DE ANÁLISES INSTRUMENTAL METAIS			
Hg	1,6	µg/kg	
Cd	2,2	mg/kg	
Cr	47,3	mg/kg	
Cu	183,8	mg/kg	
Ni	32,4	mg/kg	
Pb	71,0	mg/kg	
Zn	898,9	mg/kg	
Observação : Os valores acima estão expressos em peso seco.			
Metodologia Fertilizantes Orgânicos, Edmar José Riehl. Editora Agronômica "Ceres"Ltda,SP 1985 Observações: <ul style="list-style-type: none">• A presente análise tem seu valor restrito somente a amostra entregue no Instituto.• O presente documento é emitido em 1º via respondendo o Instituto apenas pela veracidade desta via.			

Curitiba, 26 Outubro de 2.001


COORD. LAB. AMBIENTAIS
Edna B. S. Toledo
CRQ 092 00837



Curitiba, 20 Setembro de 2.001

Edna B. S. Toledo
COORD. LAB. AMBIENTAIS
Edna B. S. Toledo
CRO 092 00837

LAUDO ANALÍTICO FÍSICO-QUÍMICO

Cod. nº FQ 2169

Solicitante: Herbarium Laboratório Botânico

Município: Colombo – PR

Data e Hora da Coleta: 27/09/01

Data e Hora do Recebimento: 01/10/01

Procedência da Amostra: –

Ponto de Coleta: Leito de Secagem (Teste 3) Tipo de Coleta: –

Profundidade de Coleta: –

Tipo de Amostra: Lodo com 29 dias
de Secagem

Amostrador: Solicitante

Condição do Tempo: Bom

RESULTADOS

PARÂMETROS	Método	L.Q.	Valores Obtidos	Unidade
Cálcio	Titulométrico	1,0	0,09	% Ca ⁺²
Carbono Total	Titulométrico	0,01	4,72	% C
Fósforo Total	Fotométrico	0,01	0,75	% P
Enxofre	Gravimétrico	0,1	0,26	% S
Magnésio	Estequiométrico	1,0	0,10	% Mg ⁺²
Matéria Orgânica	Titulométrico	1,0	8,13	%
Nitrogênio Total	Kjeldahl	1,0	0,55	% N
pH (H ₂ O 1:2,5)	Potenciométrico	0,01	5,99	un. de pH
Potássio	Abs.Atômica	0,01	0,06	% K ⁺

COMENTÁRIOS

L.Q. = Limite de Quantificação

Curitiba, 13 de novembro de 2001


Silvia Mara Haluch
(Química Ambiental)
CRQ 09901122**MÉTODOS UTILIZADOS**

Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes – EMBRAPA – 1999
Método de Análise Química, Mineralogia e Física de Solos do Instituto Agrônomo de
Campinas – Instituto Agrônomo SP – 1986

Os resultados obtidos tem seu valor restrito a amostra analisada.

A amostra analisada ficará disponível por 15 (quinze) dias a partir da data de emissão deste relatório. Caso seja necessário um maior período de tempo de armazenagem ou devolução da amostra, contactar o laboratório em prazo inferior ao estabelecido.

LAUDO ANALÍTICO FÍSICO-QUÍMICO

Cod. nº FQ 2170

Solicitante: Herbarium Laboratório Botânico

Município: Colombo – PR

Data e Hora da Coleta: 27/09/01

Data e Hora do Recebimento: 01/10/01

Procedência da Amostra: --

Ponto de Coleta: Leito de Secagem (Teste 1) Tipo de Coleta: --

Profundidade de Coleta: --

Tipo de Amostra: Lodo com 105 dias
de Secagem

Amostrador: Solicitante

Condição do Tempo: Bom

RESULTADOS

PARÂMETROS	Método	L.Q.	Valores Obtidos	Unidade
Cálcio	Titulométrico	1,0	0,05	% Ca ⁺²
Carbono Total	Titulométrico	0,01	2,39	% C
Fósforo Total	Fotométrico	0,01	0,41	% P
Enxofre	Gravimétrico	0,1	0,20	% S
Magnésio	Estequiométrico	1,0	0,05	% Mg ⁺²
Matéria Orgânica	Titulométrico	1,0	4,12	%
Nitrogênio Total	Kjeldahl	0,1	0,28	% N
pH (H ₂ O 1:2,5)	Potenciométrico	0,01	9,23	un. de pH
Potássio	Abs.Atômica	0,01	0,05	% K ⁺

COMENTÁRIOS

L.Q. = Limite de Quantificação

Curitiba, 13 de novembro de 2001


Silvia Mara Haluch
(Química Ambiental)
CRQ 09901122**MÉTODOS UTILIZADOS**

Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes – EMBRAPA – 1999
Método de Análise Química, Mineralogia e Física de Solos do Instituto Agrônomo de
Campinas – Instituto Agrônomo SP – 1986

Os resultados obtidos têm seu valor restrito a amostra analisada.

A amostra analisada ficará disponível por 15 (quinze) dias a partir da data de emissão deste relatório. Caso seja necessário um maior período de tempo de armazenagem ou devolução da amostra, contactar o laboratório em prazo inferior ao estabelecido.